Roberto Bermejo

Manual para una economía sostenible

CATARATA

ROBERTO BERMEJO

PROFESOR DE ECONOMÍA SOSTENIBLE DE LA UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO (UPV-EHU), ES AUTOR DE LOS LIBROS *MANUAL PARA UNA ECONOMÍA ECOLÓGICA* (LOS LIBROS DE LA CATARATA/BAKEAZ, 1994), *LIBRE COMERCIO Y EQUILIBRIO ECOLÓGICO* (BAKEAZ, 1997), *ECONOMÍA SOSTENIBLE* (BAKEAZ, 2001), *LA GRAN TRANSICIÓN HACIA LA SOSTENIBILIDAD* (LOS LIBROS DE LA CATARATA, 2005), *UN FUTURO SIN PETRÓLEO* (CIP/LOS LIBROS DE LA CATARATA, 2008), DE NUMEROSAS MONOGRAFÍAS [CUADERNOS BAKEAZ, CUADERNOS DE TRABAJO-HEGOA, CUADERNOS DE ECOLOGISTAS EN ACCIÓN (DONDE HA PUBLICADO LA ÚLTIMA: *ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO DEL PROYECTO DE REFINERÍA BALBOA*, 2010)] Y HA PUBLICADO DIVERSOS ARTÍCULOS EN *EKONOMIAZ, CURRENT RESEARCH, ECOLOGÍA POLÍTICA, DAPHNIA*, ETC. HA PARTICIPADO EN VARIAS DECENAS DE LIBROS COLECTIVOS [EL ÚLTIMO ES AMAZONÍA: *BIODIVERSIDAD SOSTENIBLE* (UPV-EHU, 2010)] Y ES MIEMBRO DE BAKEAZ (ORGANIZACIÓN QUE TRABAJA POR LA PAZ, LOS DERECHOS HUMANOS Y LA SOSTENIBILIDAD), DE HEGOA (INSTITUTO DE ESTUDIOS SOBRE DESARROLLO Y COOPERACIÓN INTERNACIONAL), DE EKOPOL (ORGANIZACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN EN ECONOMÍA ECOLÓGICA Y ECOLOGÍA POLÍTICA COMPUESTA POR INVESTIGADORES Y PROFESORES DE LA UPV/EHU) Y DEL CONSEJO ECONÓMICO Y SOCIAL VASCO.

Roberto Bermejo

Manual para una economía sostenible

CATARATA

DISEÑO DE CUBIERTA: JACOBO PÉREZ-ENCISO

© ROBERTO BERMEJO, 2011

© LOS LIBROS DE LA CATARATA, 2011
FUENCARRAL, 70
28004 MADRID
TEL. 91 532 05 04
FAX. 91 532 43 34
WWW.CATARATA.ORG

MANUAL PARA UNA ECONOMÍA SOSTENIBLE

ISBN: 978-84-8319-591-8
DEPÓSITO LEGAL: M-16.863-2011

ESTE LIBRO HA SIDO EDITADO PARA SER DISTRIBUIDO. LA INTENCIÓN DE LOS EDITORES ES QUE SEA UTILIZADO LO MÁS AMPLIAMENTE POSIBLE, QUE SEAN ADQUIRIDOS ORIGINALES PARA PERMITIR LA EDICIÓN DE OTROS NUEVOS Y QUE, DE REPRODUCIR PARTES, SE HAGA CONSTAR EL TÍTULO Y LA AUTORÍA.

ÍNDICE

PRÓLOGO 7

PRIMERA PARTE. CRÍTICA DEL PENSAMIENTO ECONÓMICO DOMINANTE 11

CAPÍTULO 1. PARADIGMAS 13
CAPÍTULO 2. LA MERCANTILIZACIÓN DE LA NATURALEZA Y SUS CONSECUENCIAS 30
CAPÍTULO 3. BASES E INSTRUMENTOS DE LA ECONOMÍA DEL MEDIO AMBIENTE 48
CAPÍTULO 4. LIBRE COMERCIO Y SOSTENIBILIDAD 69
CAPÍTULO 5. EL CONCEPTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE BRUNDTLAND Y SUS MANIPULACIONES 86

SEGUNDA PARTE. PRINCIPIOS E INSTRUMENTOS DE SOSTENIBILIDAD 105

CAPÍTULO 6. PRINCIPIOS DE SOSTENIBILIDAD 107
CAPÍTULO 7. TRANSFORMABILIDAD 130

CAPÍTULO 8. INSTRUMENTOS PARA LA SOSTENIBILIDAD: PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA Y REFORMA FISCAL ECOLÓGICA 145
CAPÍTULO 9. CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA LA SOSTENIBILIDAD 165

TERCERA PARTE. HACIA UNA ECONOMÍA SOLAR 187

CAPÍTULO 10. LOS TECHOS DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES 189
CAPÍTULO 11. TRANSFORMACIONES PREVISIBLES DE LA CIVILIZACIÓN INDUSTRIAL POR EL FIN DE LA ERA DE COMBUSTIBLES FÓSILES 216
CAPÍTULO 12. LA INSOSTENIBILIDAD DEL MODELO DE TRANSPORTE DOMINANTE Y LAS TRANSFORMACIONES PREVISIBLES PROVOCADAS POR EL TECHO DEL PETRÓLEO 241
CAPÍTULO 13. ELEMENTOS DE UNA ECONOMÍA SOLAR 260
CAPÍTULO 14. ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO RENOVABLE 284
CAPÍTULO 15. LAS SOCIEDADES EN EMERGENCIA ENERGÉTICA 302

CUARTA PARTE. ECONOMÍA CIRCULAR 325

CAPÍTULO 16. PRINCIPIOS PARA UNA ECONOMÍA CIRCULAR, ESCASEZ DE MATERIALES, CONCEPTOS Y LAS POLÍTICAS DE LA UNIÓN EUROPEA 327
CAPÍTULO 17. ECOLOGÍA INDUSTRIAL 351
CAPÍTULO 18. BASES PARA UNA ESTRATEGIA INTEGRADA DE PRODUCTO ECOEFECTIVA 375

QUINTA PARTE. CONSUMO SOSTENIBLE 395

CAPÍTULO 19. ELEMENTOS DE UN DIAGNÓSTICO Y DE UNA ESTRATEGIA DE CONSUMO SOSTENIBLE 397
EPÍLOGO. EVALUACIÓN GENERAL DE LA TRANSFORMABILIDAD Y DE SU TENDENCIA 422

PRÓLOGO

La invitación de la editorial de realizar un *Manual de economía sostenible* (hecho que agradezco mucho) me suponía afrontar múltiples retos. Unos derivados de las condiciones fijadas por la editorial: unos dos años de elaboración (mis libros anteriores habían tenido periodos de gestación de 3-4 años) y un formato reducido para lo que supone un Manual, ya que tiene que tratar los temas relevantes en un campo de conocimiento. Además, tal tipo de libro tiene un carácter pedagógico, por lo que requiere de abundancia de gráficos, repetición de las ideas y recalcar las conclusiones principales, etc. Lo cual determina un espacio adicional. Estos hechos han obligado a reducir al máximo los textos.

Por otro lado, me propuse lograr una alta participación de los jóvenes economistas con los que venía colaborando, miembros de la Unidad de Economía Ambiental del Instituto de Economía Pública. Pero el futuro incierto de la Unidad (que se saldó con su fin) puso en primer plano la necesidad por parte de los mismos de terminar sus tesis, como requisito previo a la búsqueda de nuevos empleos. Por ello, este libro solo incorpora un texto de Iñaki Arto (dedicado al análisis de los flujos de los materiales) en el capítulo 17. Pero, a pesar de ello, Iñaki Arto y el resto han influido mucho en el Manual, por el intercambio constante de información y los múltiples debates que hemos tenido a lo largo del tiempo.

Normalmente cuando se abordan manuales sobre campos de conocimiento se entiende que los mismos deben dar una visión de los elementos centrales

del mismo, sobre los cuales hay un consenso amplio. Sin embargo, en el caso de este Manual el enfoque es diferente. Sin negar que hay un amplio consenso sobre ciertos temas, abordo otros que no son habituales, bien por considerar que deben ser incorporados (como es el caso del transporte) o porque constituyen nuevos desarrollos que aporto, como los conceptos de biomimesis, transformabilidad o el análisis de las sociedades en emergencia energética. El Manual refleja los temas que trato en mi docencia. Por último, a pesar de que el campo que abordo suele ser definido como economía ecológica, prefiero hablar de economía sostenible. La razón fundamental es que considero que el adjetivo ecológico es más manipulable que el sostenible, a pesar de que ambos lo son constantemente, porque la sostenibilidad determina unos límites muy claros: solo es sostenible aquella actuación que se puede repetir indefinidamente porque no destruye la base física sobre la que sustenta.

Este Manual pretende definir los aspectos más relevantes de la construcción de una economía sostenible, que es una tarea ineludible ante el proceso de colisión de la humanidad con la naturaleza. Y está determinado por tres premisas: esta civilización está entrando en una crisis terminal debido al proceso de agotamiento de los principales recursos naturales y, en especial, los energéticos; tal proceso supone una gran oportunidad de acelerar su transformación, evitando un colapso profundo; y la transformación solo será duradera si se inspira en el comportamiento de la naturaleza, es decir, si es biomimética.

Estructuro el Manual en cinco bloques temáticos, de tamaño muy dispar, que se dividen en dos subconjuntos y en un Epílogo. El primero realiza la crítica de las respuestas que ha diseñado la economía hegemónica (ortodoxa, neoclásica, etc.), para hacer frente al "problema ambiental". El segundo subconjunto pretende dar respuestas al problema general de insostenibilidad del sistema económico actual y consta de cuatro partes. Lo que indica un claro énfasis en la búsqueda de alternativas sostenibles.

El primer capítulo de la Primera Parte está dedicado al estudio del paradigma dominante, porque considero que es la causa principal del proceso de colisión con la naturaleza y de la falta de respuestas que lo elimine. El capítulo segundo analiza las características principales de la economía de libre mercado. En primer lugar analizo su rasgo principal: la mercantilización de la naturaleza. Por primara vez en la historia la tierra se convierte en un bien mercantil, lo cual supone una gran contradicción del sistema económico, porque en cualquier manual de economía podemos leer que una mercancía es un bien producido para la venta y éste no es el caso. El tercer capítulo analiza los instrumentos de monetarización de los bienes libres: de internalización de las externalidades.

El cuarto muestra que hay una radical contradicción entre liberalizar los mercados y proteger la naturaleza y que son irreconciliables la internalización de las externalidades y el mercado libre. El capítulo 4 muestra la manipulación que realizan los centros de poder del concepto de desarrollo sostenible tal como es enunciado por el Informe Brundtland, a pesar de la supuesta aceptación del mismo.

La Segunda Parte define los principios de una economía sostenible y muestra los instrumentos principales para construirla. Se tratan los principios de sostenibilidad (capítulo 6), el concepto de transformabilidad (capítulo 7), que sienta las bases para poder dictaminar en el Epílogo la capacidad de transformarse por parte de la sociedad actual a partir de análisis de los elementos desarrollados en las tres partes siguientes, y dos capítulos más dedicados a mostrar instrumentos imprescindibles para construir una economía sostenible: la Planificación Estratégica de Sostenibilidad (PES), la Reforma Fiscal Ecológica (RFE) (capítulo 8) y la ciencia y tecnología para la sostenibilidad (CTS) (capítulo 9).

La Tercera Parte trata de la construcción de una economía solar. El capítulo 10 analiza las dotaciones de combustibles fósiles y especialmente del petróleo, por ser el combustible más importante, y llega a la conclusión de que tienen curvas de extracción con picos de máxima capacidad de extracción y largas curvas de agotamiento. El capítulo 11 analiza los impactos generales y sobre los sectores más importantes que provocarán nuevas y más intensas escaladas de precios del petróleo. El capítulo 12 está dedicado al análisis del impacto de las mismas sobre el sector del transporte, por ser el más vulnerable al encarecimiento del petróleo, dado que el petróleo aporta el 95% de la energía que consume en el sector en el mundo. Lo termino con apuntes de un modelo de movilidad que se acerca a la sostenibilidad. El capítulo 13 está dedicado al análisis general de la energía renovable: estrategia europea, estrategias nacionales, fuentes principales y las redes eléctricas. El capítulo 14 completa el anterior, porque estudia las alternativas energéticas que se postulan en el transporte para sustituir al petróleo. Veremos que son descartables como alternativas generales los llamados biocombustibles y la electricidad para vehículos de batería (aunque sea renovable), quedando solo el hidrógeno renovable (asociado a la célula de combustible) como única alternativa. Por último, el capítulo 15 estudia las sociedades en emergencia energética. Las defino así porque declaran expresamente la vulnerabilidad de las mismas ante el inminente techo de extracciones del petróleo y a continuación promueven transformaciones rápidas.

La Cuarta Parte pretende sentar las bases para la construcción de una economía circular en materiales. El capítulo 16 analiza la escasez de materiales estratégicos (los indispensables para las tecnologías actuales) y muestra la incapacidad de la Unión Europea (UE) para diseñar y aplicar una estrategia general de economía circular. El capítulo 17 se centra en el estudio de la ecología industrial, es decir, en el concepto y en los dos instrumentos que polarizan su práctica: el análisis y contabilidad del flujo físico de materiales de las sociedades y los ecosistemas industriales. El capítulo 18 explica elementos de una estrategia integrada de producto, que se basan en dos conceptos: responsabilidad ampliada del productor y sistema producto servicio (SMS).

La Quinta Parte consta de un solo capítulo (el 19) dedicado a realizar un diagnóstico que explica el modelo actual de hiperconsumo por parte de las capas medias y altas de la población, para después definir algunas políticas que deben impulsarse dentro de una estrategia para avanzar rápidamente hacia un consumo sostenible.

El Epílogo analiza de forma somera el grado de transformabilidad que se infiere de los datos que aporta el Manual, en base a la valoración de tres factores que la determinan: potencial, conectividad y panarquía (las relaciones entre sistemas complejos y las jerarquías que determinan).

En relación con la Bibliografía solo quiero señalar que, debido a la dificultad de clasificar las abundantes comunicaciones de la Comisión Europea que cito, he optado por citarlos en los textos según las claves de las mismas (COM (año) número).

Por último, me queda declarar mi agradecimiento a muchas personas que de forma más o menos directa me han ayudado a elaborar este texto. A mis compañeros de Departamento que han mostrado su alegría por la herramienta docente que estaba elaborando. A Iñaki Arto por su colaboración y por nuestra particular simbiosis de conocimiento, junto al resto de los miembros de la extinta UEA. A los documentalistas Charo Martínez y a Juan Pablo Benavides por sus disposición entusiasta a conseguir cualquier material que les pido, a pesar de que a veces solo aporto una información parcial. A Pía Paraja por su amistad y complicidad en el arduo proceso de edición del Manual. Y, por último, a mi compañera Ana por soportar que le he negado muchos momentos de compartir iniciativas por haber estado muy centrado en la elaboración del Manual.

PRIMERA PARTE
CRÍTICA DEL PENSAMIENTO ECONÓMICO DOMINANTE

CAPÍTULO 1

PARADIGMAS

1. EL PROCESO DE COLISIÓN CON LA NATURALEZA ES IGNORADO

Nuestra civilización está en "proceso de colisión" con el mundo natural, tal como nos dice el "Aviso a la Humanidad de la Comunidad Científica" (realizado en 1992 por más de 1.500 científicos, entre ellos, 99 premios Nobel) (UCS, 1992). Resulta abrumadora la información sobre el proceso de colisión, sobre su gravedad y, en consecuencia, se multiplican los avisos de la urgencia del cambio. Naciones Unidas viene alertándonos desde hace más de dos décadas. El Informe Brundtland (CMMAD, 1988), afirma que la supervivencia de la humanidad está en peligro. La "Declaración del Milenio" (Naciones Unidas, 2000) afirma que "no debemos escatimar esfuerzos para liberar a la humanidad, y sobre todo a nuestros hijos y nietos, de la amenaza de vivir en un planeta irremediablemente deteriorado por las actividades humanas y cuyos recursos no sean nunca más suficientes para sus necesidades". Contamos con un monumental informe de Naciones Unidas sobre el estado de la biosfera: la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM); realizado en la primera mitad de esta década por más de 1.360 expertos, entre sus conclusiones destacan las siguientes: "Los efectos indirectos sobre el futuro de los servicios de los ecosistemas [...] serán de importancia secundaria comparada con los cambios en el uso de la tierra" (MEAB, 2006*c*: 451), "Las actividades humanas

han puesto al planeta al borde de una masiva extinción de especies" (MEAB, 2006*a*: 3).

Pero no estamos ante una amenaza que afectará solo a las generaciones venideras, la actual está empezando a sufrir las consecuencias. Por ello son frecuentes los llamamientos a actuar rápidamente. El Informe Brundtland afirma en su "Llamamiento para la acción": "Somos unánimes en la convicción de que la seguridad, el bienestar y la misma supervivencia del planeta depende de estos cambios ya" (cambios en el modelo de desarrollo y de protección del medio ambiente) (CMMAD, 1988). El "Aviso" anterior declara que "no quedan más que una o muy pocas décadas antes de perder la oportunidad de eliminar la amenaza que encaramos ahora y de que la humanidad se encuentre con una perspectiva inconmensurablemente disminuida" (UCS, 1992). Pero los informes citados no contemplan el límite natural más próximo: el fin de la era de los combustibles fósiles.

Sin embargo, la enorme información de la que disponemos sobre la gravedad del proceso de colisión y de los inicios de los impactos no ha dado lugar a políticas transformadoras. Se pueden aducir numerosas causas: la inercia de la sociedad, la limitación del horizonte temporal de los gobernantes al periodo de mandato, un conocimiento solo parcial de los problemas, etc. Pero la causa de fondo es el conjunto de visiones y creencias, es decir, el paradigma dominante.

2. EXPOSICIÓN Y CRÍTICA DEL PARADIGMA DOMINANTE

El paradigma dominante (inspirado en la economía ortodoxa) se basa en varias premisas esenciales, que no son elementos separados. Forman un cuerpo de ideas y visiones interrelacionadas que determinan una visión del sentido de la vida y de la relación de la especie humana con el resto de las especies. A este paradigma contribuyeron de manera decisiva los pensadores de los siglos XVIII y XIX (Hobbes, Descartes, Locke, Newton, etc.). Pero el sistema de poder eligió los elementos que necesitaba para construirlo a partir de visiones frecuentemente contradictorias.

Por primera vez en la historia de la humanidad la especie humana cree ser la elegida y afirma estar aparte del resto de las especies. Se considera dueña de la naturaleza, a la cual considera hostil y caótica, y por eso describimos una situación caótica y violenta como la *ley de la selva.* Por lo que el *progreso* se consigue dominándola y humanizándola: "Cambiar el medio ambiente según nuestros deseos" (Schütz, 1999: 24). Esta premisa descansa en un pensamiento mecanicista, porque asume que los comportamientos de los sistemas naturales y sociales pueden ser inferidos estudiando sus partes constituyentes.

La visión del ser humano como *Homo economicus* es la de un ser totalmente racional que maximiza su bienestar, identificando éste con la posesión de una cantidad creciente de bienes y servicios. Las personas aparecen entonces como seres unidimensionales que, dotados de infinitas necesidades, polarizan su actuación con el fin de conseguir la satisfacción de las mismas. Mumford (1971) describe el cambio de valores del mundo antiguo a la civilización industrial: "La felicidad era el verdadero objetivo del hombre y consistía en lograr el mayor bien para el mayor número y, en último lugar, la perfección de las instituciones humanas podía ser considerada aproximadamente por la cantidad de bienes que una sociedad era capaz de producir: necesidades en expansión, expansión del mercado, empresas en expansión [...] la felicidad y la producción ampliada eran una misma cosa".

Así, la economía tiene que crecer ilimitadamente (algo solo posible si el planeta tuviera recursos infinitos), una premisa que se hace creíble argumentando que el desarrollo científico-técnico permitirá eliminar cualquier escasez, encontrando otros nuevos para sustituirlos y, en última instancia, desmaterializar la economía. Por ello, esa premisa es fundamental en el paradigma dominante. Otra es la bondad del mercado libre, al considerarlo como el único mecanismo capaz de maximizar el crecimiento e impulsar el desarrollo científico-técnico.

2.1. VISIÓN DE LA NATURALEZA Y DE LA POSICIÓN DE LA ESPECIE HUMANA EN ELLA

El pensamiento occidental elabora una jerarquía que sitúa a la especie humana por encima del resto de las especies. La biología establece que los primates constituyen la parte superior de esta jerarquía ("primate" viene de la palabra latina *primus*, primero), pero el *Homo sapiens sapiens* ocupa la cúspide. Se trata de una herencia desacralizada de la tradición griega y judeocristiana. Para la primera, la jerarquía es en orden descendente: dioses, hombre, mujer, esclavos, animales y vegetales. Para la segunda es: Dios, ángeles, humanos, animales y vegetales (Schütz, 1999: 24).

Presenta las relaciones de la humanidad con la naturaleza como una lucha por superar el supuesto yugo inicial de la segunda, de forma que pase de dominada a dominadora. Su dominio permitiría superar las limitaciones que la naturaleza impone al deseo humano de satisfacer necesidades ilimitadas, y vendría legitimado por la visión de la naturaleza como algo caótico y peligroso, por lo que resulta indispensable eliminar su peligrosidad y ordenar su caos para obtener de ella los recursos necesarios, es decir, "cambiar el medio ambiente según

nuestros deseos" (Schütz, 1999: 24). Y ello sería posible gracias al desarrollo de la ciencia y la tecnología. Esto lleva a otra premisa: los sistemas naturales manipulados para que maximicen su producción pueden seguir aumentándola sin límites y permanecer estables (Walker, 2005: 79). La ingeniería genética permitiría modificar los códigos genéticos para conseguir animales y plantas con las características que deseemos, dominar las enfermedades, etc. Así que la "biotecnología nos convierte en 'señores de la biosfera'" (Allenby, 2009: 169).

Esta visión del paradigma dominante no tiene base científica. La antropología afirma que, en general, las sociedades primitivas mantuvieron unas relaciones armónicas con la naturaleza y que eran sociedades de la abundancia. Estas relaciones eran posibles porque la naturaleza era considerada un legado que debían transmitir a la generación siguiente, tenía un valor espiritual, era la fuente del bienestar, etc. Para Goldsmith esta armonía descansa en dos principios: existe un orden crítico que nos permite obtener los beneficios de la Tierra y, como consecuencia, el orden crítico debe ser preservado: "El primero es que el mundo viviente o biosfera es el origen básico de todos los beneficios, y por tanto de toda riqueza, pero solo dispondremos de estos beneficios si preservamos su orden crítico. De este principio fundamental se desprende el segundo. Según el cual la meta imprescindible del modelo de comportamiento de una sociedad ecológica debe ser preservar el orden crítico del mundo natural o del cosmos" (1992: XVII).

Después de Darwin "no podemos pretender que somos algo más que un primate evolucionado, un habitante de la Tierra y un miembro de su comunidad de vida" (Callicott, 1999: 335). La pirámide jerárquica con la especie humana en el cénit no es científica. Lynn Margulis (1998: 3, 120) afirma que "estas ideas son rechazadas como una tontería absoluta por el conocimiento científico. Todos los seres vivos hoy son igualmente evolucionados. Todos han sobrevivido a lo largo de más de 3.000 millones de años de evolución a partir de bacterias ancestrales comunes". Así que el planeta "no pertenece a los humanos [...] Los humanos no son el centro de la vida, ni lo es ninguna otra especie. Los humanos no son incluso un elemento central de la vida. Somos muy recientes". Una de las "premisas clave" de la EEM es que "los seres humanos son una parte integral de los ecosistemas" (MEAB, 2006*b*: 27). No deja de resultar curioso que la especie humana, que nunca ha realizado una función importante en la naturaleza, se atribuya el derecho a dominarla (Rammel y Staudinger, 2004).

Solo un ser que ha perdido la conexión vital con la naturaleza puede identificarla con un caos de violencia. La ciencia nos muestra cada vez más ejemplos sobre su realidad, extremadamente compleja, precisa, armónica y coherente, como un orden increíble en una realidad en extremo compleja. Se produce, por ejemplo,

un comportamiento coherente e instantáneo entre decenas de miles de genes, cientos de miles de proteínas y otras macromoléculas que constituyen una célula. El mismo comportamiento se produce entre las células que forman un órgano, los tejidos y los seres. Este orden es extremadamente preciso, de forma que si las constantes vitales cambiaran en una cantidad infinitesimal, todo este orden colapsaría. La misma situación se produce en el cosmos y en los átomos; ambos colapsarían sin el ajuste preciso que se produce en más de 30 parámetros (velocidad de expansión del universo, relación de masa entre protones y neutrones, relación de carga eléctrica entre electrones y protones, etc.) (Laszlo, 2004: 60, 79). Para los textos védicos la idea de subyugar o explotar la Tierra es incomprensible. El Mahabarata afirma que "la Tierra ofrece cosechas abundantes y todas las cosas preciosas [...] una corriente continua de miles de cosas preciosas" (Vajpeyi, 1997).

Nuestras necesidades son básicamente las mismas que las del resto de las especies. Necesitamos aire, agua y alimentos limpios, materiales para construir cobijos, energía, etc. Dependemos de los procesos cíclicos de la naturaleza: "Nuestra salud depende de la pureza del aire que respiramos, del agua que bebemos y de la salud del suelo, por medio del cual nuestro alimento es producido", servicios que dependen de la buena salud de los ecosistemas. Por lo que la colisión entre la especie humana y la naturaleza es, en realidad, una colisión naturaleza-naturaleza, que pone en peligro a la primera. Así que en las décadas próximas la "supervivencia dependerá de nuestra habilidad para comprender los principios básicos de la ecología y de vivir de acuerdo con ellos" (Capra, 2002: 230).

2.2. PENSAMIENTO LINEAL Y MECANICISTA

El pensamiento dominante asume que los comportamientos de todos los sistemas (sociales, económicos, etc.) pueden ser determinados mediante el método analítico parcelario, estudiando sus partes constituyentes: "La creencia común es que si conocemos todo sobre las partes, comprenderemos el total", por lo que "el modelo de pensamiento convencional está basado en una imagen mecánica del mundo y en una causalidad lineal para explicar los fenómenos" (Hjorth y Bagheri, 2006: 77). Linealidad significa orden, predecibilidad y leyes universales comprensibles. Así que la interactuación lineal de varios factores determina un resultado previsible (Rihani, 2002: 3). Por ejemplo, si queremos provocar un acontecimiento D debemos manipular los factores A y B, que conocemos porque han sido analizados separadamente. No se admite que entre A, B y C se produzcan interconexiones que resultan en modificaciones mutuas y creando una dinámica poco predecible (Hjorth y Bagheri, 2006).

Este pensamiento mecanicista y lineal se aplica en todas las facetas de la vida. Rostow consideraba, después de la Segunda Guerra Mundial, que todos los países se desarrollarían según cinco etapas que ya habrían recorrido los países desarrollados. Fukuyama anunció el fin de la historia cuando se derrumbó el bloque soviético. Los programas de ajuste estructural del FMI presuponen que la misma receta económica es válida para cualquier país (Rihani, 2002: 4).

El pensamiento mecanicista y lineal es propio del siglo XIX; es en este siglo cuando se fragua la revolución neoclásica en la teoría económica que sigue determinando el pensamiento económico ortodoxo. Su objetivo era convertir la economía en una ciencia semejante a la mecánica newtoniana o a la astrología del siglo XIX. Y lo curioso es que se produce cuando la mecánica newtoniana y la astronomía estaban siendo profundamente revisadas. Después, las neurociencias, la psiquiatría y la psicología, también van a poner en cuestión el *Homo economicus*. Además proliferan en el mundo los sistemas complejos (lo son las células, los organismos, los ecosistemas, las sociedades, etc.), por lo que a partir del pensamiento lineal no se puede entenderlos. Un sistema o conjunto funcional tiene propiedades que no pueden ser inferidas de sus partes. Cuando tales sistemas tienen capacidad para evolucionar adaptándose a los cambios del entorno, se les define como sistemas complejos adaptativos (SCA). Por medio de interacciones no lineales entre sus componentes los SCA se organizan jerárquicamente en estructuras que determinan, y son reforzados por, los flujos de individuos, materiales, energía e información (Matutinovic, 2002; Nielsen, 2006).

2.3. VISIÓN DE LOS SERES HUMANOS: 'HOMO ECONOMICUS'

PERSONA RACIONAL: La economía ortodoxa se basa en la premisa de que los seres humanos nos comportamos de forma consecuente con el objetivo de maximizar la satisfacción individual y que, por tanto, podemos ordenar nuestros diferentes deseos o necesidades según una escala de preferencias. Además, se asume que tal comportamiento es permanente, por lo que las decisiones no se ven afectadas por el contexto social o por las estructuras de referencia: "Las recomendaciones de la mayoría de los economistas se basan, explícita o implícitamente, en el modelo de *actor racional* de comportamiento humano. Se asume que el comportamiento es egoísta, que las preferencias son estables y que las decisiones no se ven afectadas por el contexto social" (Gowdy, 2007). Y el libre mercado es el marco en el que puede manifestar su racionalidad. Tal visión no se sostiene a la luz de los estudios sobre el comportamiento humano, los realizados por las neurociencias, la psicología, la sociología e, incluso, por la teoría de juegos y la economía del comportamiento (Gowdy, 2007).

Hodgson (1992: 44 y ss.) considera que los procesos cognoscitivos son complejos y fruto de múltiples interrelaciones y que las acciones se realizan con diferentes grados de conciencia: desde actos con muy poco o nulo nivel de control hasta otros con un alto nivel de deliberación. A partir de Freud sabemos que nuestras acciones no están totalmente determinadas por cálculos racionales o deliberaciones conscientes, porque el subconsciente (es decir, la información de nuestra vida pasada de la que no somos conscientes) condiciona nuestro comportamiento. Sabemos también que los conceptos y las teorías se elaboran en contextos sociales y que de acuerdo con nuestra ideología filtramos la información recibida, descartando la que no encaja en aquélla. Aparte de las tendencias de avaricia y acumulación, el ser humano presenta otras: aversión a perder, cooperación, altruismo puro, castigo altruista, habituación, etc. El castigo altruista es un comportamiento habitual en las sociedades y muestra que hay una gran disposición para castigar a los que no cumplen las normas de cooperación, incluso en los casos en que el castigador sufre costes sustanciales por tal actuación. Este comportamiento disuade los comportamientos egoístas y estabiliza la cooperación. Los comportamientos racionales son propios de animales con limitada habilidad cognoscitiva y de las elecciones humanas más simples (Gowdy, 2007). Así que "la persona es considerada un ser que examina y juzga sus deseos y los evalúa según varios criterios, el más importante de los cuales es el de los valores morales sociales [...] y estos deseos no pueden ser claramente ordenados y regulados por los precios" (Etzioni, 1992: 49).

PERSONA EGOÍSTA: La economía ortodoxa entra en contradicción en el terreno de los valores. Por un lado, argumenta que la economía es una ciencia ajena a los valores morales, porque, al igual que la física y la astronomía, trata de personas en relación con cosas. Sin embargo, se basa en la teoría económica de Adam Smith, quien afirma que la avaricia es un comportamiento consustancial de la actividad económica, y hoy en día se defiende que la competencia es el comportamiento central de la actividad económica. En *La riqueza de las naciones* constata que necesitamos la ayuda de nuestros semejantes, pero añade que "resulta inútil esperarla exclusivamente de su benevolencia", hay que encontrarla en la búsqueda individual de su propio beneficio: "No es la benevolencia del carnicero, el cervecero o el panadero lo que nos procura nuestra cena, sino el cuidado que ponen ellos en su propio beneficio. No nos dirigimos a su humanidad sino a su propio interés, y jamás les hablamos de nuestras necesidades sino de sus ventajas" (Smith, 1994: 45-46).

Y este egoísmo, que supone que cada individuo busca su máximo beneficio, no produce el caos, sino la armonía. Mandeville defendía en *La fábula de las abejas*

que, en economía, los vicios privados se convierten en virtudes colectivas. Y el hecho de que el jurado de acusación de Middlesex dictaminara en 1723 que el libro era un perjuicio público muestra el cambio de valores operado en el capitalismo. Adam Smith compartía esta teoría, pero, al no encontrar una explicación objetiva a semejante paradoja, buscó una salida tan poco científica como atribuir la citada armonía a la actuación de una supuesta *mano invisible.* Cada individuo es "dirigido por una mano invisible para promover un fin que no era parte de su intención" (Smith, 1994: 46). Pero según L. Dickey, "hacia el fin de la década de 1780, Smith estaba cada vez más alarmado por lo que él describía como 'el agotamiento del legado moral' por parte de la sociedad comercial" (Thompson, 1995: 306).

La revolución neoclásica no modifica esta visión de la naturaleza humana, aunque no la expondrá con la crudeza de Adam Smith. Ahora se manifiesta en la defensa del individualismo, de la soberanía del consumidor y de la competencia, como requisito de eficiencia económica. En el apartado anterior hemos mostrado que esta visión del ser humano es acientífica, así que solo resta citar a algunos de los economistas más destacados que han discrepado de la visión ortodoxa. El economista clásico J. S. Mills consideraba que la Inglaterra de mediados del siglo XIX tenía el suficiente potencial económico como para que la población pudiera satisfacer sus necesidades esenciales sin tener que vivir una competencia feroz. Keynes creía en la necesidad del predominio de la avaricia y la usura, pero no las consideraba rasgos permanentes e inmutables del comportamiento humano. Esperaba que en cien años se llegaría a una sociedad de la abundancia y que ya no serían necesarios los comportamientos insolidarios en la economía. Marx pretendía crear una sociedad de la abundancia y libre de la explotación que definió como comunismo (Schumacher, 1978).

PERSONA COMPETITIVA: Un ser que es individualista y egoísta no puede ser más que competitivo. Se afirma que la competencia no solo es uno de los rasgos distintivos de todos los seres vivientes, sino que constituye un elemento imprescindible para alcanzar la eficiencia en el campo económico. Malthus insiste en que la lucha por los alimentos y los recursos es una necesidad matemática y en que la pobreza y el hambre son normales y deseables, porque las víctimas de la competición darán paso a los mejores dotados, los vencedores. Hoy en día, solo los economistas ultraliberales admiten esta interpretación de la teoría de la supervivencia, es decir, la que la concibe en su sentido físico. Friedrich von Hayek afirma que en un "mundo basado en las ideas igualitarias, el problema de la superpoblación es [...] insoluble. Si garantizamos que toda persona que nace continuará viviendo, muy pronto no estaremos en condiciones de mantener

esta promesa. Existe un único freno a la superpoblación: fundamentalmente, que la gente que permanezca y se reproduzca sea solo aquella que es capaz de alimentarse por sí misma" (Goldsmith, 1992: 202).

La ortodoxia afirma que la lucha empresarial por la supervivencia es la fuerza directora de la actividad económica. J. Bhagwati considera que éste es el comportamiento de la naturaleza y al que tiende la economía a medida que se desregula: "El fenómeno de tela de araña (integración global) significa de forma creciente que cada uno tiende a estar en el patio de los otros, produciendo competición de importaciones en el propio mercado de cada uno, y competencia de exportaciones en los mercados de los otros y en terceros mercados, cada vez de forma más feroz, en clara reminiscencia de la lucha por el sol en un denso bosque tropical" (Andersson, Folke y Nystrom, 1995: 53). J. D. Rockefeller va más lejos: la lucha por la supervivencia es una ley incluso divina: "El desarrollo de un gran negocio es meramente la supervivencia del más apto [...] Es meramente la manifestación de la ley de la Naturaleza y la ley de Dios" (Goldsmith, 1992: 202).

Wheatly y Crineam (2004), expertos en organización de empresas, afirman que "la agresión es no solo la energía dominante de esta época, sino que es considerada como atributo positivo" del mundo empresarial. Y constatan que la agresión es el comportamiento más común en muchas organizaciones, como se demuestra en la terminología militar utilizada: "traer la artillería pesada", "dominar el campo de batalla", planear "un ataque sorpresa", etc.

Ninguna especie se muestra tan agresiva con sus congéneres como la nuestra. El siglo XX ha sido testigo de dos grandes guerras mundiales y de multitud de guerras locales. Keynes tenía muy claro que los Estados que no saben resolver sus problemas internos tienden a trasladarlos a otros. Incluso en las conclusiones de su "Teoría general" afirma que las causas económicas de la guerra son "la presión de la población y la lucha competitiva por los mercados" (Keynes, 1964: 382).

Basándonos en los estudios citados anteriormente, aparecen sin base las afirmaciones que pretendían respaldar la teoría de la lucha por la supervivencia. La "ley divina" de la competencia a la que alude Rockefeller no se sostiene a la luz de los textos de las grandes religiones y culturas tradicionales. Por ejemplo, Buda afirma que la persona que actúa rectamente "deja la maza y la espada, procura no causar daño a nadie, está lleno de amabilidad, busca el bien para todos los seres vivientes" (Bercholz y Kohn, 1994). Tampoco resulta defendible el poner como ejemplo de la "lucha por la supervivencia" la selva tropical. Se ignora, como veremos en la Segunda Parte, que la naturaleza tiene la virtud de transformar la competencia de individuos en una colaboración básica entre especies, que se traduce en la creación de ecosistemas perfectamente adaptados a su entorno y capaces de mantener su identidad.

Persona consumista. la sacralización del trabajo: La ideología dominante presenta la historia de la humanidad como una larga marcha de la escasez a la abundancia, en la que los humanos se van dotando paulatinamente de tecnologías que les permiten ir dominando la naturaleza, y alejarse así del peligro permanente de extinción, e ir accediendo a la posesión de un número creciente de bienes y servicios. Es difícil encontrar en nuestras sociedades una premisa que tenga mayor adhesión. Ayres defiende que la revolución tecnológica condena felizmente a la desaparición a las culturas primitivas, porque las considera "precientíficas y preindustriales": "Desde la revolución tecnológica, en sí misma irresistible, la autoridad arbitraria y los valores irracionales de las culturas precientíficas y preindustriales están condenados" (Sbert, 1993: 194). M. Novak alaba los logros del capitalismo hasta el punto de declarar que éste posibilita la desaparición del hambre y la pobreza, y considera que no hay otro sistema que "ningún otro sistema ha revolucionado tanto las expectativas ordinarias de la vida diaria (alargamiento de la esperanza de vida, eliminación de la pobreza y el hambre, ampliación del alcance de las opciones humanas) como el capitalismo democrático" (Hawken, 1995: 7).

Sin embargo, la antropología y la historia definen un panorama muy diferente al del *progreso* como una larga marcha de la escasez primitiva a la relativa abundancia actual. Numerosos antropólogos e historiadores económicos describen unas sociedades primitivas muy alejadas de la extrema escasez. Sahlins (1983: 14) considera que las sociedades recolectoras y cazadoras son sociedades de la abundancia, entendida ésta en el sentido de que todas las necesidades esenciales quedan perfectamente cubiertas con un esfuerzo mínimo. Tainter (2005) muestra que, históricamente, los campesinos han tenido jornadas de trabajo reducidas porque eran conscientes de que la productividad decrecía con el aumento del tiempo de trabajo. Mumford (1971) y Sahlins explican que en las sociedades precapitalistas el tiempo de trabajo disminuía en la medida en que aumentaba la productividad. Este proceso se dio en Europa hasta el siglo XVI, en el que más de la mitad de los días del año eran festivos. A partir de entonces comienza una regresión de las condiciones de trabajo y de los salarios, y aunque la tendencia anterior se empieza a revertir a finales del siglo XIX, aún hoy el tiempo de trabajo anual en los países desarrollados es superior al del mundo antiguo (Durning, 1994: 35). También supone un retroceso la situación de miles de millones de personas que no tienen satisfechas sus necesidades más elementales.

En las sociedades primitivas los seres humanos no trabajan para maximizar la acumulación de bienes materiales, sino para garantizar su posición, sus derechos y determinadas conquistas sociales. Ni el proceso de producción ni el de distribución

están ligados a intereses económicos. Cada sociedad se articula en función de una serie de intereses sociales que van variando a medida que evoluciona. La producción y la distribución están reguladas por los principios de la reciprocidad y la distribución. El *principio de la reciprocidad* constituye un contrato social por el cual las donaciones de bienes o de trabajo de un individuo obligan moralmente a los receptores a su devolución. El *principio de la distribución* significa que las sociedades organizan la distribución de los bienes de forma que nadie se encuentre en una situación de miseria. "Se puede afirmar, en general, que todos los sistemas económicos que conocemos hasta el final del feudalismo en Europa occidental estaban organizados siguiendo los principios de la reciprocidad, de la distribución, de la autosuficiencia doméstica, o de una combinación de las tres" (Polanyi, 1989).

La burguesía naciente se vio obligada a combatir esta cultura, ya que era incompatible con las necesidades de expansión ilimitada del sistema capitalista. El trabajo pasaba a ser ensalzado, dotándole de unas cualidades intrínsecas e independientes de su objetivo de satisfacer necesidades vitales: se convierte en una virtud. Por ello la burguesía fustigará durante siglos la holgazanería de los trabajadores. Los textos siguientes, citados por Marglin (1977), reflejan ese comportamiento. El primero es de J. Smith: "Es un hecho conocido [...] que el trabajador que puede satisfacer sus necesidades trabajando tres días semanales permanecerá ocioso y embriagado el resto de la semana". El segundo es del académico escocés Ure, muy citado por Marx: "Resulta prácticamente imposible, pasada la edad de la pubertad, transformar a la gente que procede de ocupaciones rurales o artesanales en buenos obreros de fábrica. Tras haber luchado un momento por vencer sus costumbres de indolencia e indocilidad, o bien renuncian espontáneamente al empleo, o bien les despiden los encargados por falta de atención".

Aunque el trabajo se convierta en virtud, supone sufrimiento (produce cansancio y peligrosidad en muchas actividades), por lo que el consumo se convierte en el premio a la virtud del trabajo. Y el premio debe estar a la altura del sufrimiento: la felicidad que provoca el acceso a un número creciente de bienes y servicios. Pero este razonamiento es pura ideología, que esconde la necesidad del capitalismo de crecer ilimitadamente para seguir aumentando el nivel de beneficios empresariales. Lo es también porque hay una abrumadora evidencia empírica, que nos proporciona la sociología y la psicología, de que, a partir de la satisfacción de las necesidades físicas esenciales, la felicidad no crece (e incluso se reduce en algunos países) con el aumento de las rentas (Mulder *et al.*, 2005).

Y las grandes filosofías y religiones coinciden en que la riqueza material no da la felicidad y que la infelicidad es el resultado de comportamientos disfuncionales, contrarios a la auténtica esencia humana. En griego antiguo, *pecado*

significa "fallar en el objetivo, actuar en contra de la esencia humana". Por lo tanto, la clave está en determinar cuál es la esencia o el destino intrínseco de la humanidad. Así que crece aceleradamente el número de personas que buscan su esencia por sus propios medios, aunque ayudándose de las enseñanzas de los maestros que eligen (Tolle, 2006: 19).

2.4. VISIÓN DE LA ECONOMÍA

Georgescu-Roegen afirma que "ninguna otra ciencia ha sido criticada por sus propios servidores de forma tan abierta y tan incesante como la economía", lo cual se debía al concepto de *Homo economicus*, y "tal ficción despoja a la conducta humana de toda propensión cultural, lo que equivale a decir que, en su vida económica, el hombre actúa mecánicamente" (Carpintero, 2006: 142). En este apartado analizaremos tres aspectos esenciales de la economía clásica: la ciencia económica, el rol del mercado y la visión del desarrollo tecnológico.

La ciencia económica: La llamada revolución neoclásica de finales del siglo XIX (personificada especialmente en Jevons, Walras y Menger) pretendió la superación de cualquier planteamiento ideológico y ético con el argumento de que la economía es una ciencia con un grado de precisión equivalente al de la mecánica newtoniana o la astronomía y que, por tanto, está por encima de la ética. Para reforzar este supuesto carácter científico dotaron a la economía de un importante aparato matemático. Jevons dice que "nuestra ciencia debe ser matemática, simplemente porque trata de cantidades" (Roll, 1966: 378). Este autor pretendía crear una mecánica de la utilidad y del interés propio, y Walras, una mecánica de la satisfacción. Para este último la economía es moralmente neutra, porque se refiere a las relaciones entre personas y cosas. Menger compara la economía con la astronomía, sugiriendo que, mediante el estudio de los movimientos visibles de los precios (planetas), podríamos deducir la naturaleza de la fuerza invisible de la maximización de la utilidad (energía) (Cole, Cameron y Edwards, 1983).

Y, así, la política no tenía cabida dentro de la economía, de forma que la economía política (término utilizado hasta entonces) se convirtió en economía pura, o simplemente economía, a partir de la revolución neoclásica (Soderbaun, 1992). Friedman, premio Nobel y líder de la escuela liberal de Chicago, dice con una terminología moderna lo mismo que Jevons, Walras y Menger: "La economía positiva es, en principio, independiente de cualquier posición ética o juicio normativo. Su objetivo será proporcionar generalizaciones que puedan usarse para realizar predicciones correctas sobre las consecuencias de cualquier cambio en las circunstancias.

Su actuación debe ser juzgada por la precisión, el alcance y la conformidad con la realidad de las predicciones que realiza. En resumen, la economía positiva es, o puede ser, una ciencia objetiva en el mismo sentido que cualquiera de las ciencias físicas" (Naredo, 1987: 383). Lo cual ha provocado que muchos economistas notables denuncien el abuso del recurso matemático. Entre los economistas matemáticos, Wiener declara que, de la misma forma que las comunidades primitivas utilizan ritos mágicos, "así los economistas han contraído el hábito de envolver sus ideas, más bien imprecisas, en el lenguaje del cálculo infinitesimal". Hanh considera "escandaloso" que haya tantos economistas dedicados a "refinar el análisis de situaciones económicas que no hay razón para suponer que hayan existido o vayan a existir en algún momento". Morishima afirma que la "teoría económica matemática se ha convertido recientemente en algo cada vez más abstracto, aguado y estéril" (Gómez Uranga, 1997). Pero el intento de los economistas ortodoxos de copiar las metodologías de las ciencias físicas y de la matemática está abocado al fracaso. La economía es una ciencia social, lo cual significa que está condicionada por las ideologías. Además, las ciencias que representaban el referente de cientificidad, como la física y la astronomía, se han desarrollado mucho hasta entrar en terrenos que desafían la visión del mundo aceptada hasta ahora (Lazlo, 2004).

El papel central de la tecnología: El desarrollo científico-técnico ocupa un papel central en la economía ortodoxa porque su necesidad de crecer ilimitadamente solo puede ser creíble, en un planeta finito, si se le dota de grandes cualidades desmaterializadoras y ordenadoras del *caos* del mundo natural. El Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, 2002) afirma que: "Las empresas han usado la tecnología como motor de progreso desde al menos la revolución industrial, lo cual nos ha dado modos notables de poner en orden (*marshall*) el mundo físico para el beneficio humano".

Es cierto que en los dos últimos siglos se ha producido un enorme desarrollo de la ciencia y la tecnología. Muchas tecnologías han producido un avance notable en el bienestar de las sociedades, como son la electricidad, las telecomunicaciones, el transporte, algunas tecnologías productivas, etc. Pero muchas tecnologías usan recursos de forma insostenible, porque agotan recursos no renovables, generan impactos ambientales y reducen la calidad de vida. Esto se debe a que los sistemas tecnológicos tradicionales están al servicio del sistema económico imperante. A pesar de ello nos anuncia avances científicos que mejorarán extraordinariamente la calidad de vida.

Sin embargo, estas promesas son puestas en cuestión por destacadas organizaciones de científicos y tecnólogos, por la realidad y por las protestas de los sectores

de la población que se ven gravemente afectados por los daños directos o colaterales del *progreso científico-técnico*: "El sistema científico se enfrenta a una crisis de legitimidad, y últimamente de poder, en la medida en que hay un sentimiento creciente en muchos ámbitos de que la ciencia no está respondiendo adecuadamente a los retos de nuestro tiempo y, particularmente, el que representa el desarrollo sostenible" (Hjorth y Bagheri, 2006: 75). Frente al mito de las soluciones correctas basadas en demostraciones rigurosas, se manifiestan múltiples factores de incertidumbre, debido a que los sistemas sociales y el sistema natural son complejos y, por tanto, tienen un alto grado de impredecibilidad. Existen enormes lagunas de conocimiento, especialmente en lo relativo a cómo funciona la naturaleza, y en consecuencia es alto el grado de incertidumbre sobre los efectos de nuestras actuaciones sobre el sistema natural, sobre la salud, sobre las futuras generaciones, sobre la cohesión social, sobre el futuro de la economía, etc. Además, múltiples grupos humanos (poblaciones aborígenes, campesinas, pescadoras, etc.) han desarrollado conocimientos y formas de actuación (en medicina, producción sostenible, materiales bióticos, capacidad de predecir cambios en el entorno, etc.) que constituyen un patrimonio científico de gran riqueza. Por ello, la ciencia no puede tener el monopolio de definir la política científico-técnica, sino que todos los agentes sociales son expertos en diferentes modos y en relación con los diversos aspectos de cada problema, y están legitimados para participar en la definición de las soluciones y en su aplicación: "Los ciudadanos (así como los científicos) se convierten ambos en críticos y creadores, proveedores y receptores en el proceso de producción del conocimiento" (Spangenberg y O'Connor, 2003). Se suele llamar a esta visión científica "ciencia postnormal".

EL PAPEL DEL MERCADO COMO PROCESO EVOLUTIVO Y DETERMINANTE DE LA HISTORIA: La construcción del mercado libre es el elemento clave que explica y justifica la revolución neoclásica. Éste sería el instrumento principal mediante el que los individuos alcanzarían un bienestar siempre creciente. En este sentido, el reducido mercado primitivo constituiría una etapa en la evolución natural hacia el mercado capitalista y hacia el tipo de comportamiento social que se ajusta a dicha racionalidad: "De acuerdo con la economía ortodoxa, desde los días del mercado primitivo hasta la era presente, en la que éste define los precios, ha habido o habría habido una evolución progresiva desde el mercado con límites estrictos hasta otro sin límites. Si tal posición es tomada por cierta, el comportamiento del mercado es el camino de la verdadera humanidad" (Berthoud, 1993: 82).

Si se admite que el mercado libre es la culminación histórica del mercado, también las sociedades de economía de mercado constituyen el final de una supuesta evolución natural. Nos encontraríamos, por tanto, ante el final de la

historia. Así, según el ensayista neoliberal Alain Minc, "El capitalismo no puede derrumbarse, es el estado natural de la sociedad" (Ramonet, 1997: 59). Y por esta razón Abolafia y Biggart (1992: 317) consideran que "el modelo neoclásico de mercado competitivo es transhistórico y acultural".

Por otro lado, se defiende que la "racionalidad mercantil" constituye un principio inspirador del resto de las facetas del comportamiento humano. Esto es lo que defiende el premio Nobel Gary Becker (Altvater, 1993), ya que para él "la aproximación económica es un enfoque comprensivo que es aplicable a todo comportamiento humano". Altvater considera que la interpretación que hace la economía ortodoxa de la historia de la economía determina unos "principios ordenadores" (1993: 74). Por lo tanto, "en esta nueva era, el mercado no es considerado como un mero instrumento para la asignación de bienes y servicios, sino como el único medio posible de regular la sociedad" (Berthoud, 1993: 70).

Extender la racionalidad mercantil a la organización social y política supone un planteamiento totalitario, porque defender posiciones no acordes con el libre mercado es ponerse al margen —o en contraposición— de lo que es racional y natural. Implica también colocar a la economía ortodoxa y a sus economistas en una posición inquisitorial. De ahí que acusen a sus críticos de mantener posturas patológicas, conservadoras, antidemocráticas, etc. Martin Wolf, redactor jefe asociado del *Financial Times*, declara que los antiliberales se basan en tres posturas: "odio a los mercados, miedo a los extranjeros e inquietud en cuanto a los salarios, a los empleos, a la actividad económica. Si las dos actitudes primeras son patológicas, la tercera es racional, al menos". Peter Martin, redactor jefe de la edición internacional de la misma publicación, los acusa de emplear argumentos que "reposan en un ansia visceral de preservar el *statu quo* y de perennizar su ideología hondamente conservadora" que va en contra de los "derechos democráticos, en particular el derecho más preciado: el de la práctica en paz de aquello que más nos guste" (*Le Monde Diplomatique*, junio de 1997). Ante el peligro totalitario del pensamiento único, algunos economistas ortodoxos, como Besso, admiten que "tal vez se ha cometido el viejo error de interpretar la fase histórica en la que estamos viviendo como el fin de la historia" (Ravaioli y Ekins, 1995: 124).

3. PARADIGMA DE SOSTENIBILIDAD

El paradigma dominante es acientífico, arrogante y suicida (porque no tenemos futuro si continuamos con el proceso de colisión), propio de seres poco desarrollados y contrario a la sabiduría tradicional de las comunidades precapitalistas y a la

visión de la gran mayoría de las religiones y filosofías en relación con la esencia de la especie humana y su relación con el resto de la naturaleza. La confluencia de seres disfuncionales y la posesión de tecnologías de alto poder destructivo crea una situación altamente peligrosa. Por ello, urge la sustitución del paradigma actual por otro al servicio de la sostenibilidad. Sus rasgos principales se infieren de la crítica que hemos realizado del paradigma dominante y los expondremos brevemente según cuatro ejes: la visión de nuestra posición con el resto de la naturaleza, el sentido de la vida, la economía sostenible y la ciencia y tecnología de la misma.

La especie humana forma parte de la naturaleza. Además, el resto de las especies son la causa del despliegue y mantenimiento de la vida en el planeta, por lo que no existen para servirnos. Por eso debemos respetarla, comportándonos como regentes o administradores. Tampoco es un caos lleno de violencia, sino un orden maravilloso e infinitamente complejo construido a los largo de miles de millones de años. Necesitamos vivir en contacto armónico con ella por calidad y sentido de vida. Vivir en entornos ambientales no degradados constituye un factor imprescindible de la calidad de vida. Está demostrado que trabajamos mejor, nos sentimos más equilibrados y sanamos más rápidamente en entornos naturales. Los niños con graves problemas de relación mejoran mucho en contacto controlado con animales. Algunos autores denominan *biofilia* a esta tendencia innata de buscar el contacto con la naturaleza (Orr, 2002: 25).

El sentido de la vida es un concepto mucho más difícil de comprender. Tiene múltiples dimensiones (autoconocimiento, conciencia del papel que debemos desempeñar en relación con el medio natural, en las sociedades, etc.) que desbordan el marco de este texto. Por ello solo tocaremos la segunda. Entre otras, cabe destacar la de convertirnos en "herramientas de la naturaleza" (McDonough y Braungart, 2002: 156): regenerando, dentro de lo posible, los espacios naturales degradados o destruidos; integrando la naturaleza en las ciudades, creando edificios que "como los árboles producen más energía de la que consumen y que purifican sus aguas residuales" (McDonough y Braungart, 2002: 90).

Si como dice la sabiduría ancestral somos seres disfuncionales, el problema de la infelicidad no está fuera (en la acumulación ilimitada de bienes, en nuestros conflictos con los demás), sino en nosotros mismos (en nuestra visión de quiénes somos, en nuestros sentimientos y, en última instancia, en nuestra idea de la felicidad). Por lo que es necesario tomar conciencia de las causas de la disfuncionalidad mediante el autoconocimiento, porque es la única manera de eliminarlas. Muchas civilizaciones han sintetizado esta visión de la esencia humana y de su relación con el cosmos en conceptos muy semejantes que han sido nombrados de diferentes formas: *R'ta* en la India de los

vedas; también en la India el concepto semejante de *Dharma*; *Tao* en China; *Maat* en el antiguo Egipto; *Nomos* en la antigua Grecia, etc.; y otras muchas civilizaciones (como la maorí) lo definen como "el camino" (Goldsmith, 1992: 300).

La economía humana es un subsistema de la economía general de los materiales y la energía de la naturaleza y la teoría general de los sistemas no muestra que un subsistema no puede sobrevivir, si se comporta de forma diferente al sistema del que forma parte. Por ello debemos inferir del comportamiento natural los principios guías de la sostenibilidad. Veremos en el capítulo 5 que estos principios se dividen en abióticos y bióticos. Los abióticos son el cierre de los flujos de los materiales, la energía solar y el mantenimiento de las constantes físico-químicas del mundo inerte. Los principios bióticos se desprenden del comportamiento de los ecosistemas: evolución, diversidad, jerarquía de servicios, descentralización, autosuficiencia y predominio de la cooperación sobre la competencia. Estos principios son imprescindibles para que se cumplan los abióticos. El mercado debe estar al servicio de estos objetivos, por lo que no debe ser amo, sino siervo.

La biomímesis también hay que aplicarla al campo de la ciencia y la tecnología. Nuestras tecnologías son enormemente inferiores a las de la naturaleza, por lo que la ciencia debe ampliar constantemente el conocimiento de los comportamientos básicos de la biosfera y sus ecosistemas. Así se podrán desarrollar tecnologías biomiméticas, es decir, con un alto grado de eficiencia y sostenibilidad. Pero no se trata de imitar solo las tecnologías de la naturaleza, sino también sus estructuras organizativas. Así que, por ejemplo, debemos crear ecosistemas industriales. El siguiente cuadro resume los dos paradigmas (basado en Ehrenfeld, 2007: 77).

PARADIGMA CONVENCIONAL	PARADIGMA DE SOSTENIBILIDAD
Reduccionista	Interconectado
Simple	Complejo
Determinista	No determinista
Atomístico	Holístico
Mecanicista	Orgánico
Antropocéntrico	Biocéntrico
Individualista	Comunitario
Cuantitativo	Cualitativo
Desencanto	Encanto
Competición	Cooperación
Fronteras geopolíticas	Límites naturales
Linear, predecible	No linear, imprevisible

CAPÍTULO 2

LA MERCANTILIZACIÓN DE LA NATURALEZA Y SUS CONSECUENCIAS

La defensa del mercado libre parte de la premisa de que es el instrumento económico más eficiente y, por tanto, el que más crecimiento económico genera. Además, se afirma que realiza un reparto justo de la riqueza producida, ya que lo hace en función de la aportación de cada uno, y que la naturaleza es una fuente ilimitada de recursos que el mercado usa eficientemente. Pero la geología nos muestra el proceso de agotamiento de los recursos. En este capítulo analizaremos la eficiencia del mercado libre, el proceso histórico de emergencia del mercado capitalista, la mercantilización de la naturaleza, sus repercusiones en el medio natural y las teorías sobre la dotación de los mismos.

1. LA EFICIENCIA DEL LIBRE MERCADO

Adam Smith llegó a la paradójica conclusión de que, al perseguir cada individuo la maximización de su utilidad, se obtiene la máxima satisfacción social posible. Así que un vicio privado (el egoísmo) se convierte (mediante la "mano invisible") en una virtud colectiva (el bienestar social). Hoy en día la economía ortodoxa explica esta paradoja en función de una serie de virtudes que atribuye al mercado libre:

- Determina, por la acción libre de la oferta y la demanda, los costes reales (precios), que constituyen una información imprescindible para la actuación económica eficiente.
- Distribuye los recursos de forma eficiente.
- Satisface los deseos de la gente, ya que los empresarios están siempre dispuestos a satisfacer la demanda, que expresa esos deseos.
- Evita la necesidad de complejas planificaciones, ya que funciona automáticamente.
- Se adapta con rapidez y flexibilidad a los cambios.

No obstante, para que pueda desplegar tales virtudes debe cumplir las premisas siguientes:

- Existencia de instituciones capaces de establecer los derechos de propiedad y garantizar el usufructo de la misma.
- Existencia de una clara y precisa estructura de derechos de propiedad.
- Libertad e igualdad para todos los miembros que intervienen en el mercado. Esto supone, entre otras cosas, que ambas partes dispongan de la misma información y que haya libertad para entrar y salir del mercado.
- Ello se consigue mediante la actuación de un alto número de oferentes y demandantes.
- Existencia de un equilibrio entre oferta y demanda.
- Divisibilidad de los factores de producción y de los productos.
- Ausencia de bienes públicos.
- Ausencia de impactos ambientales.
- Ausencia de escaseces absolutas de recursos.

El requisito de que los agentes económicos sean libres e iguales se incumple sistemáticamente, porque el sistema que se caracteriza por la apropiación privada de los medios de producción y la tendencia a concentrarlos en pocas manos. Éste crea una relación de dominación de los poseedores sobre los desposeídos. El derecho del consumidor a elegir libremente presupone que su elección no afecta a otros miembros de la sociedad y del mundo. En la medida en que las mercancías son reproducibles y no afectan a otras mercancías y a otros consumidores, la propuesta tiene sentido, siempre y cuando el consumidor esté perfectamente informado. Pero, al introducir las repercusiones sociales y ambientales de los actos de los agentes económicos, nos damos cuenta de que la supuesta soberanía de los agentes económicos esconde a menudo impactos muy fuertes sobre otras personas, sobre las

sociedades y, sobre todo, sobre las generaciones futuras. Por ejemplo, la propiedad de un automóvil, de acuerdo con la soberanía citada, contribuye al agotamiento de recursos (especialmente petróleo) y produce impactos ambientales que generan pérdida de bienestar en las ciudades y cambio climático.

La existencia de oligopolios, sus relaciones simbióticas con el poder político, los pactos de limitación de la competencia, los grupos de presión, las múltiples barreras de entrada en un número creciente de sectores económicos (debido, sobre todo, a las fuertes inversiones que frecuentemente es necesario realizar para entrar en sectores muy monopolizados), muestra lo alejado que se encuentra el mercado del comportamiento determinado por los requisitos indicados.

Si se cumplieran estos requisitos, no cabe duda de que el mercado sería un instrumento mucho más eficiente de lo que lo es hoy en día, pero aún resultaría inadecuado para satisfacer de forma sostenible las necesidades vitales de toda la población. El mercado solo atiende a la demanda solvente. No distingue entre necesidades vitales y no vitales. Así, el mercado OCDE suele ofrecer a precios bajos una infinidad de productos manufacturados, pero mucha gente no puede acceder a una vivienda digna o a una sanidad de calidad. También se le niega el derecho a un aire y agua limpios, a estar en contacto con una naturaleza no degradada, etc. Y estas carencias son tanto más notorias cuanto más desregulado actúe el mercado. Así, en Estados Unidos (EE UU), donde la acción reguladora pública es mínima, se registran los peores indicadores en sanidad y en educación de la OCDE.

Por último, proponer el mercado (un instrumento microeconómico) como la opción adecuada para resolver los problemas generales (económicos, sociales y ambientales) supone ignorar el orden jerárquico de los sistemas complejos. En la biosfera los ecosistemas mayores ocupan la cúspide jerárquica. Por ello, en vez de resolver problemas, los magnifica: degradando la naturaleza, polarizando la distribución de rentas e impulsando la desintegración social.

2. LA EMERGENCIA DEL MERCADO CAPITALISTA Y SUS CONSECUENCIAS

Hemos visto en el capítulo anterior que la defensa del mercado libre, es decir, totalmente guiado por sus fuerzas internas, sin que medien los Estados, lleva a defender que el proceso de liberalización económica es un proceso natural, por lo que los que se oponen a él deben ser tratados como personas peligrosas, que conspiran para subvertir el *orden natural.* Así que tal premisa desemboca en el totalitarismo. Pero la historia de la economía no avala la teoría de la evolución

natural del mercado. Muchos autores [como Polanyi (1989), Mumford (1971), Thompson (1995), Altvater (1993), etc.] sostienen sólidamente que no hay tal evolución natural, sino que se produjo una ruptura cualitativa entre el mercado capitalista y que ésta fue el resultado del fuerte intervencionismo de los gobiernos burgueses que emergieron después de que triunfaran las revoluciones contra el Antiguo Régimen.

El mercado precapitalista tiene dos rasgos propios. En primer lugar, es limitado en volumen y tipo de mercancías, en el espacio y en el tiempo. Es limitado en volumen porque solo se vende una parte mínima de los bienes producidos, ya que la inmensa mayoría de la población practica una agricultura básicamente de subsistencia. Polanyi considera que hasta la segunda mitad del siglo XVIII "las pretendidas naciones eran simplemente unidades políticas (y aun así muy laxas) formadas desde el punto de vista económico por innumerables familias autosuficientes de todos los tamaños y por modestos mercados locales situados en las aldeas" (1989: 113). Incluso en la Europa de finales del siglo XVIII apenas existe comercio entre regiones de un mismo estado (Sachs, 1992: 7). También está limitado el tipo de mercancías objeto de compraventa. La tierra y el trabajo no se consideran mercancías, por lo que no se intercambian en el mercado. En algunas sociedades ni siquiera los alimentos se venden, puesto que se consideran tan importantes que no los consideran bienes mercantiles. El mercado primitivo solo acontece en un lugar bien definido en sus contornos físicos y temporales, y claramente diferenciado de la vida ordinaria. A menudo este lugar se encuentra "a distancia de la zona habitada y funciona como un lugar de encuentro neutral" (Berthoud, 1993: 75). La limitación temporal obedece a que funciona exclusivamente unos determinados días del año. En segundo lugar, el mercado precapitalista estaba muy regulado. Las autoridades no solo procuran el orden en los mercados, sino que controlan los diversos aspectos involucrados en la transacción, en especial el precio y el peso, como lo demuestran los historiadores Braudel y Thompson. En Gran Bretaña se elaboraron medidas de emergencia para las épocas de escasez de alimentos entre 1580 y 1630 que fueron codificadas en el *Book of Orders*. Éste "otorga a los magistrados el poder (con la ayuda de tribunales locales) de inspeccionar las existencias de cereales en cámaras y graneros; de ordenar el envío de ciertas cantidades al mercado; y de imponer con severidad todas las normas de legislación sobre licencias y acaparamiento. No se podía vender grano fuera del mercado público" (Thompson, 1995: 256).

Los gremios medievales, como se sabe, regulaban la calidad y el precio de los productos, el número y forma de promoción de los trabajadores, y otros muchos aspectos de la vida gremial, algunos de los cuales caían fuera del ámbito

estrictamente económico, como era el caso de ciertos servicios que actualmente se engloban bajo el término de seguridad social. Al menos hasta finales del siglo XVIII los intermediarios fueron considerados sospechosos ante la ley y sus actividades estaban muy limitadas. Por otro lado, se veía a los molineros y panaderos como servidores de la comunidad que no trabajaban para lucrarse, sino para obtener una ganancia razonable.

No existe, por tanto, "formación libre de los precios". Las autoridades buscan la estabilidad de los precios como medio de garantizar la paz social. Precisamente por eso, la economía precapitalista está centrada en la satisfacción de las necesidades. R. H. Tawney considera que "la economía del municipio medieval era tal que el consumo ostentaba, en cierta medida, la misma primacía en la mentalidad pública, como árbitro indiscutido del esfuerzo económico, que el siglo XX atribuirá a los beneficios" (Thompson, 1995: 286). A pesar de ello, los mercados precapitalistas crecen y se interrelacionan con el crecimiento de la economía. Pero estos factores "no transforman, sin embargo, los mercados en un sistema de economía de mercado, ya que la forma de mercancía no se había convertido aún en un universal principio ordenador de la regulación social, y la propiedad privada de los medios de producción no había sido firmemente establecida" (Altvater, 1993: 58).

3. LA MERCANTILIZACIÓN DE LA NATURALEZA

La existencia de la naturaleza nos viene dada y la apropiación privada de ésta es el resultado de un acto jurídico, que históricamente ha sido precedido con frecuencia de una conquista violenta, porque esta apropiación supone una pérdida para el resto de la sociedad o para otros colectivos. Normalmente en las sociedades primitivas la tierra no se consideraba una mercancía, porque constituía el territorio de las mismas, un bien común que proveía los alimentos y materiales necesarios para su supervivencia y la depositaria de los restos de los antepasados. Su mercantilización supone una afirmación del dominio humano sobre la naturaleza y la negación de facto del carácter sistémico de la naturaleza (deja de ser considerada una entidad ecosistémica y se convierte en una sucesión de parcelas de tierra privatizadas), lo cual abre el camino a su destrucción, porque la tierra se convierte en medio de producción privado y, por ello, sometida a la lógica mercantil de la maximización del beneficio.

Los manuales de economía afirman que una mercancía es un bien producido para la venta, algo que no ocurre con los recursos naturales, así que la naturaleza

no es una mercancía. Cada mercancía auténtica constituye una unidad individualizada y perfectamente separada de las otras, por lo que la destrucción de una no afecta al resto; por ejemplo, la destrucción de un automóvil no afecta al resto del parque automovilístico. La Tierra se constituyó hace 4.000 millones de años; la vida apareció 500 millones de años después. Y la especie humana es el producto de última hora de la evolución de la vida en el planeta. Evidentemente, no hemos podido producir la Tierra, sino que ella nos ha producido a nosotros, por lo que no tenemos derecho a apropiarnos de ella y mercantilizarla. Su consideración como mercancía exige una valoración (mercantil) y un uso incompatible con la inconmensurablemente compleja red de la vida. La naturaleza tiene un carácter holístico, no divisible, que se rebela contra el reduccionismo mercantilista. Así, por ejemplo, tal y como dice Leipert, "un árbol o una especie es parte de un ecosistema local, que es parte de un ecosistema regional, que a su vez es parte de una red de ecosistemas en todo el país, en el continente y en el mundo. Y todos estos ecosistemas interactúan de una forma tan compleja que constituyen un bien común único, indivisible y colectivo, que pertenece a la raza humana" (Ravaioli y Ekins, 1995: 38). Un par de ejemplos servirán para ilustrar las consecuencias de ignorar el carácter sistémico de la naturaleza. Las autoridades chinas decretaron la prohibición de talar árboles en toda la cuenca del río Yangtsé, así como un amplio plan de reforestación, debido a que las catastróficas inundaciones del verano de 1998 fueron agravadas por la deforestación producida en las últimas décadas. Desde una perspectiva más general, los graves problemas ecológicos planetarios (cambio climático, deterioro de la capa de ozono, degradación de los océanos, etc.) son una consecuencia de la acumulación de numerosas alteraciones producidas a escala local. Por ello, Aldo Leopold (naturalista considerado como el padre del conservacionismo) afirmaba que "la conservación de la naturaleza era un acto de armonía entre el hombre y la tierra" y que la mercantilización de la naturaleza la destruye: "Abusamos de la Tierra porque la consideramos una mercancía que nos pertenece. Cuando veamos la Tierra como una comunidad a la que pertenecemos, podremos empezar a usarla con amor y respeto" (Meeker-Lowry, 1995: 158; www.en.wikipedia.org).

A pesar de lo dicho hasta aquí, la naturaleza nos provee de bienes y servicios que no son apropiables, mercantilizables: los bienes públicos o libres. Son aquellos cuyo disfrute por una persona no impide que el resto no pueda beneficiarse de ellos. Además, no pueden, en general, ser privatizados. Muchos de los bienes naturales son bienes públicos (los ríos, los mares, la atmósfera, la vida salvaje, etc.), e incluso aquellos que han sido privatizados (tierra, acuíferos,

etc.) tienen un carácter público, porque su uso afecta al resto de la biosfera y, por tanto, a la humanidad. Pero la naturaleza representa mucho más que un bien económico de carácter público. Constituye una totalidad de múltiples aspectos: es nuestro hábitat, por lo que su respeto es garantía de supervivencia; y nos provee muchos servicios vitales, aparte de ser fuente de recursos necesarios para el sostenimiento de la vida. De Groot (1998: 263) considera que la naturaleza nos aporta funciones reguladoras, de soporte, de producción e informativas, las cuales incluyen 36 subfunciones.

La sociedad capitalista tiende a valorar aquello que el mercado valora y a marginar y no respetar aquello que no tiene valor de mercado. Esto es lo que ocurre con los bienes y servicios ambientales públicos, aunque sean vitales no solo para la economía, sino también para la supervivencia de la humanidad. Pero, al ser el mercado desregulado el principio ordenador y valorizador, éste tiende a marginar todo aquello que no tiene valor de mercado, lo que se traduce en un proceso creciente de deterioro y destrucción ambiental: "La valorización (o, en otras palabras, extensión de la racionalidad formal del mercado y del principio de escasez a recursos previamente libres) siempre determina la definición, ampliamente oculta, de objetos no valorizables o sin valor, cuya destrucción es permitida" (Altvater, 1993: 69).

El proceso de colisión con la naturaleza se produce porque el mercado no es el instrumento adecuado para alcanzar la armonía con ella. La naturaleza tiende a acortar los ciclos de los materiales, minimizando los transportes y el consumo de energía que conllevan, por lo que recicla la mayor parte de ellos a escala local. A medida que un ecosistema evoluciona hacia la madurez, va reduciendo la necesidad de aportes de materiales exteriores al mismo. Por el contrario, la economía de mercado tiende a la mundialización y, por tanto, a alargar los transportes de los bienes. Esto causa daños ambientales muy importantes y un gran consumo de recursos. La naturaleza genera una biodiversidad creciente, ya que es garantía de estabilidad y de supervivencia. El mercado tiende a la especialización de los países y a la estandarización de los productos y de las técnicas de producción. Éste es el caso de la agricultura industrial, cuya dinámica de especialización está reduciendo extraordinariamente su base genética y, por tanto, su capacidad de desarrollar nuevas variedades que se adapten a una realidad cambiante. Swanson considera que está "estropeando una política de seguridad única frente a los cambios del sistema de vida [...] porque las formas de vida existentes almacenan una historia de adaptación exitosa en un medio físico cambiante" (Gustafsson, 1998: 266).

4. MERCADO LIBRE Y RECURSOS NATURALES

4.1. EL IMPACTO SOBRE LOS RECURSOS NATURALES DE LA INSTAURACIÓN DEL MERCADO CAPITALISTA

Para que un sistema político pueda transformarse en un sistema de economía de mercado es necesario que la tierra, el trabajo y el dinero se conviertan en mercancías y, por tanto, en propiedad separada. El mercado pasa de ser un mero instrumento para el intercambio de objetos, como lo había sido en las sociedades precapitalistas, a convertirse en el medio universal regulador de la sociedad, en el determinante de las relaciones y niveles sociales. El dinero pasa de ser un instrumento que facilita el intercambio a constituir la medida de todas las cosas. Y el incremento de su cantidad, a partir de la apropiación de la plusvalía generada por el trabajo, se convierte en el objetivo que da sentido a la actividad económica. Como dice Hume, "es una consecuencia infalible de todas las profesiones laboriosas [...] hacer que el amor al dinero prevalezca sobre el amor al placer" (Altvater, 1993: 60). Así que, si el mundo hubiera estado gobernado por las leyes de la economía libre de mercado, éste se habría ido imponiendo por la fuerza de los hechos, en un proceso de evolución natural.

Estas ideas alcanzaron la hegemonía a partir de la década de 1820 y fueron defendidas por la burguesía con fe religiosa: "Lo que nació siendo una simple inclinación a favor de los métodos no burocráticos, se convirtió en una verdadera fe que creía en la salvación del hombre aquí abajo gracias a un mercado autorregulador" (Polanyi, 1989: 223). Pero el descubrimiento "de las leyes que gobernaban el mundo de los hombres" no dio lugar a una aceleración de la "evolución natural", porque la sociedad opuso una gran resistencia: lejos de desmantelarse el Estado fuertemente intervencionista de las monarquías absolutas para dar paso al mercado que se regula a sí mismo y regula, al mismo tiempo, la vida económica determinando la organización social, la administración pública se fortaleció, para implantar el mercado "a sangre y fuego, recurriendo, para ello, a toda la fuerza del aparato del Estado" (Naredo, 1990).

Aparte del uso sistemático de la fuerza, la destrucción del antiguo orden requería la supresión de su marco legal. En Europa occidental, entre 1830 y 1850 se promulgaron numerosas leyes que abolían las regulaciones de la sociedad primitiva. Además, era preciso crear un nuevo marco legal e institucional que dejara al margen de la ley cualquier reacción de defensa. Así, la apropiación por parte de las burguesías de las tierras comunales se realizó según nuevas leyes. Los ferrocarriles se desarrollaron al amparo de leyes proteccionistas

que, por ejemplo, eliminaban el derecho a exigir el pago de los daños de los incendios provocados por las máquinas de vapor. Después de la guerra civil, el gobierno estadounidense donó a las compañías ferroviarias una superficie de tierra mayor que los estados de California y Florida (Gorelick, 1998: 15). Un decreto francés de 1810 establecía la autorización automática de instalaciones peligrosas insalubres o molestas, con el fin de mantenerlas legalmente inmunes a las denuncias de los perjudicados, que eran objeto de sentencias favorables de los magistrados. Según el Instituto de Francia, esta "arbitrariedad de los magistrados [...] trastoca el ámbito en el cual el manufacturero puede ejercer libremente y con seguridad" (Naredo, 1987: 272-273).

Pero la desregulación del primer capitalismo y la reducción del trabajo y de los recursos naturales a meras mercancías pronto van a mostrar su carácter atentatorio contra la vida, poniendo en peligro incluso la propia supervivencia del sistema: "La idea de un mercado que se regula a sí mismo era una idea puramente utópica. Una institución como ésta no podía existir de forma duradera sin aniquilar la sustancia humana y la naturaleza de la sociedad, sin destruir al hombre y sin transformar su ecosistema en un desierto" (Polanyi, 1989).

Repercusiones en el trabajo y la naturaleza

La economía de mercado supone la apropiación privada de los medios de producción, lo que convierte en asalariada a la mayoría de la población activa y a su trabajo, en una mercancía. En la economía ortodoxa la fuerza de trabajo aparece como una mercancía más cuyo precio (salario) viene determinado por las leyes de la oferta y la demanda, y que, una vez incorporado al proceso productivo, se comporta como tal mercancía. Sin embargo, el trabajo no es sino una de las manifestaciones de la vida humana, por lo que no puede ser una mercancía. Las madres tienen hijos y los cuidan no con la idea de que suministran a la sociedad recursos productivos. A diferencia de las mercancías, su venta no supone un cambio de propiedad; el empresario solo se puede apropiar del valor producido por el trabajo, que es una de las expresiones del ser humano, indisociable del resto de sus expresiones. La mercantilización del trabajo, por lo tanto, degrada a las personas.

Convertido el trabajo en una mercancía, tenía que encontrar su precio en el mercado. Todo precio del trabajo que no hubiera sido establecido de este modo se consideraba antieconómico. Pero convertir el trabajo en mercancía supone aniquilar las formas orgánicas existentes en el mundo precapitalista, basadas en el parentesco, la vecindad, el oficio, etc., que ligaban el trabajo con

las otras dimensiones de la vida. Implica, además, limitar la libertad de los individuos para organizarse. La ley de Chatelier de la Francia napoleónica prohibía la asociación de los trabajadores por atentar contra la libertad de los patronos. En vista de que la gente no quería abandonar el campo y sus relaciones comunitarias, había que obligarla, y normalmente el método consistía en minar las bases de subsistencia. En Europa esto solía conseguirse privando de la tierra a los campesinos. En las colonias se utilizaron múltiples métodos para romper la resistencia de los nativos: se les privó de las mejores tierras, se les prohibió la fabricación de bienes de particular importancia, se les cargó con impuestos, etc. Y cuando estas prácticas fallaban, se les imponía la esclavitud. En 1901, el ministro francés de Comercio declaraba que a los negros no les gustaba trabajar y que no tenían costumbre de ahorrar, por lo que era necesaria "la esclavitud para mejorar sus circunstancias y después dirigirles en el aprendizaje de la libertad" (*The Ecologist*, julio-agosto 1992).

Tratar el trabajo como una mercancía supone convertirlo en algo perfectamente intercambiable, como pueden ser las piezas de un reloj. Para ello es necesario parcelarlo y banalizarlo de forma que cualquier trabajador pueda ocupar el lugar de otro. La mercantilización del trabajo conlleva, por tanto, la necesidad estructural de eliminar cualquier saber de los trabajadores que les dé capacidad de regular el trabajo de forma autónoma. De este modo, la implantación del capitalismo desencadenó un proceso de eliminación del saber obrero. El ingeniero estadounidense Taylor será el gran sistematizador de las técnicas para lograrlo y Ford culminará el proceso con el desarrollo de la cadena de montaje. Adam Smith, a pesar de que defendía la división del trabajo, reconocía su carácter degradante, aunque viviera solamente el comienzo de la revolución industrial británica: "Un hombre que se pase la vida ejecutando unas pocas operaciones simples [...] no tiene oportunidad de desarrollar su entendimiento [...] En general, se vuelve tan estúpido e ignorante como es posible que llegue a serlo un ser humano" (Schumacher, 1980: 60-61). Aparte de la pérdida del control sobre el proceso productivo, la mercantilización del trabajo produjo otros efectos conocidos: la disminución de los salarios, la prolongación de la jornada de trabajo, el deterioro de la salud laboral, el trabajo de los niños, etc. Igualmente conocidas son sus secuelas de degradación moral: alcoholismo, prostitución y delincuencia.

Por otro lado, el resultado de la mercantilización de la naturaleza es el comienzo de un proceso de degradación que todavía continúa porque es consustancial al sistema y que solo se aminora cuando el mercado es sometido a una fuerte regulación, es decir, cuando se cuestiona su presunto carácter mercantil. En un principio la desregulación capitalista no produjo problemas

ecológicos comparables con los actuales (el nivel de población, de actividad económica y de desarrollo tecnológico era muy inferior al actual), aunque sus efectos están lejos de ser desdeñables. Uno de los más graves es una fuerte deforestación. En Inglaterra muchos bosques comunales desaparecieron mediante leyes del Parlamento y en Italia y España ocurrió lo mismo con las desamortizaciones. En EE UU, a finales del siglo XIX se terminó la colonización y, una vez destruidos los bosques del este, el país se afanaba en la tala de lo que quedaba en el resto del territorio (Ramos Gorostiza, 2002).

Otro proceso antiecológico fue la paulatina sustitución de la sostenible agricultura primitiva por otra de carecer industrial. Estos efectos pronto resultaron evidentes. Liebig es conocido por el desarrollo de abonos químicos, pero además criticó la agricultura productivista porque rompe el ciclo de la materia de la agricultura tradicional, debido a que los residuos de la alimentación de las ciudades no vuelven al campo. Marx afirmaba que la agricultura capitalista esquilmaba la tierra: "'Todo progreso en el arte de esquilmar al obrero, y también en el arte de esquilmar la tierra [...] es a la vez un paso dado en el agotamiento de las fuerzas perennes que alimentan dicha fertilidad [...] por tanto la producción capitalista solo puede desarrollar la técnica y la combinación del proceso social de producción, socavando a la vez las dos fuentes originales de toda riqueza: la tierra y el hombre" (Marx, 1973).

Paralelamente se desencadenó un doble proceso que tuvo graves repercusiones sociales en el campo, y que no generó un desastre ecológico porque fue interrumpido. Por un lado, la implantación del mercado de la tierra, que se instauró en Europa entre 1830 y 1860, trajo consigo la eliminación de los derechos de arriendo tradicionales, lo que provocó un gran éxodo de campesinos sin tierras a las ciudades, las cuales se veían desbordadas, de forma semejante a lo que está ocurriendo en la actualidad en los países No-OCDE. Por otro lado, se produjo una caída brusca de los precios agrícolas como resultado de la entrada masiva en Europa de cereales americanos a precios muy bajos, propiciados por el desarrollo del ferrocarril y el barco de vapor. Ambos procesos amenazaban la supervivencia de gran parte de las explotaciones campesinas y el abandono de los campos suponía un desastre ecológico.

Por último, la instauración del capitalismo provocó en todas las sociedades una explosión demográfica, sobre todo por la desaparición de los controles de natalidad que las sociedades primitivas habían ido diseñando. Malthus desarrolló su teoría poblacional al observar el crecimiento exponencial de la población británica en su época. Pronto Europa se convirtió en un continente superpoblado y buscó una válvula de escape en la emigración. Entre principios del siglo XIX y XX emigraron cincuenta millones de europeos (Crosby, 1988: 16).

La reacción reguladora

La historia del mercado libre es, al mismo tiempo, la historia de la agresión del Estado a las bases comunitarias de las sociedades precapitalistas y de la espontánea reacción defensiva de éstas. Tal reacción se dirige en una primera fase contra la introducción de la tierra y el trabajo en el mercado y, en una fase posterior, contra los efectos más degradantes de dicha introducción. Había que reducir la flexibilidad de los salarios y la movilidad de la mano de obra, garantizar unos ingresos mínimos, regular el medio ambiente urbano para evitar que éste se volviera totalmente insalubre, regular la gestión de los recursos naturales y limitar las actividades más destructoras del ambiente. Pero la regulación desbordaba el marco estricto de los problemas aquí tratados. Tanto EE UU como las naciones industrializadas europeas y, sobre todo, Japón protegieron a sus nacientes industrias de la competencia internacional mediante la implantación de fuertes barreras aduaneras. Es curioso que hoy se niegue, en nombre del liberalismo económico, este derecho y necesidad a las naciones No-OCDE.

Mientras que la destrucción de las estructuras económicas y sociales precapitalistas fue el resultado de una acción consciente y sistemática de los Estados, la reacción contra las terribles secuelas de esta intervención tuvo un carácter espontáneo. Éste queda demostrado por el hecho de que la regulación se diera mediante la adopción de fórmulas muy semejantes y al mismo tiempo en países con regímenes políticos muy diversos, y actuando en la misma dirección no solo los gobiernos centrales, sino también los locales. El proceso fue simultáneo en la Inglaterra victoriana, en la Alemania de Bismarck, en la Francia de la III República y en el imperio de los Habsburgo. Además, sus promotores fueron personas del más variado espectro ideológico: "En la Inglaterra protestante, gabinetes conservadores y liberales trabajaron intermitentemente para promover la legislación sobre el trabajo. En Alemania, católicos romanos y socialdemócratas participaron en su realización; en Austria participó la Iglesia y sus partidarios más militantes; en Francia lo hicieron los enemigos de la Iglesia [...] Todos ellos fueron responsables de la votación y aprobación de leyes casi idénticas" (Polanyi, 1989: 241).

Se aprobaron leyes sobre accidentes de trabajo en 1880 y 1897 en Inglaterra, en 1879 en Alemania, en 1887 en Austria y en 1899 en Francia. La inspección de fábricas se instauró en Inglaterra en 1883, en Prusia en 1853, en Austria en 1883 y en Francia en 1874 y 1883. Se aprobaron leyes para limitar la edad de comienzo del trabajo infantil y para regular las condiciones higiénicas en

las fábricas, se limitó la jornada laboral, se establecieron sistemas de seguridad social, etc. Paralelamente, y apremiadas por las epidemias y la insalubridad de las condiciones de vida, las ciudades establecieron sistemas de alcantarillado, de recogida de basuras y de inspecciones de alimentos, se tomaron medidas para mejorar las viviendas de los trabajadores y se construyeron parques públicos. En EE UU, a finales del siglo XIX, el Congreso aprobó sucesivamente la Ley de Alimentos y Medicamentos, la Ley de Inspección Cárnica y la Ley de Construcciones Viejas. Hacia 1880 la mayor parte de las ciudades habían construido sistemas de aguas residuales. En Europa, un potente movimiento campesino de rechazo a la desregulación agraria consiguió que se arbitraran medidas proteccionistas a partir de la década de 1870, lo que permitió estabilizar la población campesina. Se implantaron aranceles a los cereales importados, se limitó la transferibilidad de la tierra y ayudas económicas directas e indirectas a los campesinos (Fabe y O'Connors, 1990).

Además, era necesario proteger a la naturaleza de la rápida expansión capitalista y aparecieron importantes movimientos conservacionistas, cuya actuación ha permitido la creación de numerosas áreas protegidas. En el Reino Unido se creó un potente movimiento en contra de la tala de los bosques que consiguió salvar a muchos. En EE UU, después de la guerra civil, surgió un fuerte "movimiento conservacionista", fruto de la preocupación por el rápido proceso de destrucción de la naturaleza. El movimiento era muy heterogéneo y estaba liderado por personas muy dispares. Esta falta de objetivos claros y comunes y la política antiambientalista del presidente Taft (1909-1913) llevarán a su declive al iniciarse el siglo XX, pero su legado se manifiesta en múltiples áreas: la creación de zonas protegidas, la ordenación del territorio, la gestión pública del agua, la nacionalización de grandes extensiones de bosques. Para gestionarlos de forma sostenible se fundó el Servicio Forestal (Fabe y O'Connors, 1990; Ramos Gorostiza, 2002). Este movimiento ambientalista renació con fuerza durante la recesión de los años treinta del siglo XX con la política del New Deal del presidente Roosevelt y supuso la contratación de millones de jóvenes en la conservación de áreas protegidas. En España, ocho años después de haberse publicado la segunda ley desamortizadora (Ley Madoz de 1855), que al igual que la primera resultó nefasta para los bosques, se publicó la Ley de Montes de 1863, "que responde a un espíritu de freno a la política desamortizadora emprendida años atrás" (Aunos, 1991). A partir de 1917 se empiezan a crear parques naturales.

Así, las regulaciones protectoras de la naturaleza en la primera etapa del capitalismo se referían fundamentalmente al uso agrícola de la tierra (y muy determinado por problemas sociales), y en algunos pocos casos a la protección de ecosistemas de alto valor, con la promulgación de leyes sobre espacios protegidos. Pero no se avanzó gran cosa en lo que posteriormente se conocerá como políticas ambientales: limitación de emisiones y vertidos. Será necesario sufrir la fuerte degradación que provoca la onda expansiva de la posguerra para que esas políticas comiencen a desarrollarse.

4.2. LA ESCASEZ DE RECURSOS NATURALES EN EL PENSAMIENTO CLÁSICO Y NEOCLÁSICO

A pesar del proceso de destrucción de recursos naturales en la etapa histórica que hemos analizado, no se manifestó preocupación general alguna por un posible agotamiento. En Europa la defensa de los bosques se debe a que era un recurso clave para la economía del pequeño campesino. En EE UU se manifiesta una motivación conservacionista en minorías muy activas, sin que mediara (al menos de forma directa) un interés por conservar un recurso de alto valor económico. Esta preocupación es lógica, porque en el siglo XIX aún permanece el grueso de los recursos naturales de la Tierra, debido a que la actividad económica industrializada y la población eran mucho menores que la actual. La población alcanzó mil millones a mediados del siglo XIX.

Una excepción al panorama general descrito es el problema de los recursos naturales de Gran Bretaña. El hecho de haber iniciado la revolución industrial a finales del siglo XVIII provoca importantes escaseces de recursos a medida que va avanzando el siglo XIX. La tala sistemática de bosques decidida por el parlamento británico provocó una aguda escasez de madera. El carbón fue otro motivo de preocupación. A pesar de que Jevons fuera uno de los padres de la revolución neoclásica, mostró preocupación por el agotamiento del carbón en Gran Bretaña (Bradley, 2007). También es muy posible que la Ley de Montes española estuviera motivada por la escasez de madera que se produjo tras la tala de la mayor parte de los bosques, debida a la fuerte demanda que provocó el desarrollo del ferrocarril y de la minería. Pero, salvo los casos descritos, es solo a finales del siglo XX cuando se manifiesta con fuerza la escasez de los recursos naturales.

Los autores clásicos (pensadores económicos de sobre todo la primera mitad del siglo XIX) se vieron influidos por el proceso de destrucción de recursos naturales que se manifestó en su época y tenían, en general, una visión clara

de la existencia de límites naturales al crecimiento ilimitado. Por ello les preocupaba la explosión poblacional. Malthus creía que los seres humanos tienden a reproducirse explosivamente y, por tanto, a agotar los recursos. En realidad, lo que se estaba produciendo era un fenómeno inherente a la instauración del primer capitalismo: una explosión poblacional motivada, entre otros factores, por la desaparición de la cultura de control de la natalidad de las culturas anteriores. Éstas utilizaban mecanismos abortivos de carácter individual (productos abortivos, uso de preservativos naturales, etc.) y de carácter social (retrasar la edad de casamiento, destinar numerosos niños a la vida religiosa de carácter célibe, como es el caso del budismo y del catolicismo). Con la revolución industrial en Gran Bretaña la edad de casamiento de las jóvenes bajó de 28 a 22 años. A partir de esa visión sobre la dinámica poblacional, algunos economistas clásicos se plantearon el problema de alimentación que tal dinámica podía producir. Malthus defendía que la escasez de alimentos daría lugar a una competencia de la que sobrevivirían los "más aptos". La misma preocupación llevará a que David Ricardo desarrolle una teoría que planteaba una tendencia innata al estancamiento del sistema capitalista desregulado. La presión poblacional llevaría al uso de tierras cada vez más marginales, lo cual determinaría que los precios de los alimentos se fueran encareciendo, y con ellos los salarios, pero éstos reducirían su poder adquisitivo al límite de la supervivencia del trabajador y su familia, momento en que se estabilizaría la población, porque las familias solo tendrían los hijos que pudieran alimentar. Por otro lado, el encarecimiento de los salarios reduciría los beneficios empresariales, la inversión decrecería y el sistema económico se estancaría. Y para evitar esta tendencia estructural, los Estados deberían intervenir sistemáticamente para impulsar el crecimiento económico. Esta teoría fue refinada por Keynes en el siglo XIX y constituye la escuela neorricardiana o keynesiana (Roll, 1966). A Keynes también le preocupaba la superpoblación. En su "Teoría General" afirma que una de las causas de la guerra es "la presión de la población" (Keynes, 1964: 382).

Para J. S. Mill y C. Marx los problemas de insostenibilidad del sistema capitalista llevan a la necesidad de sustituirlo. J. S. Mill comprendió en su época madura la imposibilidad de crecer ilimitadamente y abogaba por una economía de estado estacionario y con un reparto más equitativo de los recursos. En sus *Principios de economía política* escribió: "La tierra no la creó el hombre. Es la herencia original de la especie entera. Su apropiación es por completo una cuestión de utilidad general. Cuando la propiedad privada de la tierra no es útil, es injusta [...] Y es ciertamente una injusticia venir al

mundo para encontrar que todos los dones naturales han sido previamente acaparados" (Mill, 1996: 219). C. Marx está convencido de que existe una contradicción entre capitalismo y conservación de la naturaleza, de que la búsqueda de beneficios al más corto plazo posible determina la destrucción de la tierra del cultivo, por superexplotación y la falta de reciclado de nutrientes. Pero la solución de esta contradicción, como de otras, debería esperar a que el proletariado superara la contradicción principal (entre el trabajo y el capital) mediante la revolución proletaria (Marx y Engels, 1975).

Por el contrario, con la llamada revolución neoclásica desaparece cualquier preocupación por los límites físicos. Se centra en la microeconomía (economía de la empresa) y pierde cualquier perspectiva general. Y el hecho de que en lo empresarial no se planteen problemas de agotamiento de recursos, ni de impactos ambientales, supone implícitamente que la Tierra es una fuente inagotable de recursos y un sumidero de residuos de capacidad infinita. La economía ortodoxa mantendrá esta visión durante cien años: "Entre 1870 y 1970, los economistas ortodoxos (con algunas excepciones notables) creyeron que el crecimiento económico se podía sostener indefinidamente" (Pearce y Turner, 1990: 13). Y ésta ha sido hasta ahora la opinión ampliamente dominante en economía, hasta el punto de que ningún manual de economía se plantea este problema. Sin embargo, los enormes impactos ambientales que se producen en la época posterior a la Segunda Guerra Mundial, debidos al crecimiento intensivo de la economía y, en especial, de la industria química, dio lugar al nacimiento y desarrollo de las políticas ambientales a partir de la década de los sesenta. Pero se siguió ignorando que pudiera darse agotamiento de recursos. La tendencia histórica a la reducción de los precios de las materias primas parecía avalar tal planteamiento, pero en realidad está equivocado. Veremos más adelante que el mercado solo da señales (en forma de rápidos procesos de elevación de los precios) en la fase final de agotamiento de recursos. Éste es el panorama que aparece ya a finales del siglo XX y durante la década siguiente se produjeron elevaciones muy fuertes en los precios de los combustibles fósiles y de la mayoría de los metales estratégicos, además de fenómenos de acaparamiento.

A pesar de que el pensamiento dominante en la economía ortodoxa no reconoce la escasez de recursos naturales, se ha venido produciendo una discusión académica sobre la "economía de los recursos naturales" en la que se muestran puntos de vista discordantes. Y conviene analizar la discusión académica, porque se están empezando a dar rápidos cambios de opinión ante la creciente evidencia de la escasez de recursos. Se manifiestan, al menos, cuatro

tipos de posturas: la negación de la existencia de escasez; la escasez de un recurso aumenta los precios y se produce un uso más eficiente, lo que aleja el problema, cuando no lo resuelve; el reconocimiento de que los recursos, aunque son finitos, son abundantes por el desarrollo tecnológico o por el ingenio humano, lo cual puede llevar a que, a pesar de que algunos recursos puedan agotarse, serán sustituidos por otros; y hay escasez de recursos. Así que las tres primeras defienden la capacidad de los mercados para hacer frente a escaseces coyunturales.

En la negación pura destacan Adelman, Seaborg, Brooks y Andrews. Adelman afirma que la idea de "recursos limitados y finitos [...] es un eslogan vacío [...] los inventarios de reservas probadas son continuamente renovados por la inversión en la prospección y explotación" (Bradley, 2007). Para Seaborg la abundancia de energía permite "reciclar cualquier desperdicio [...] extraer, transportar y devolver a la naturaleza, cuando sea necesario, todos los materiales en una forma aceptable". Brooks y Andrews afirman que "es ridícula la idea del agotamiento de las reservas minerales. Todo el planeta está compuesto de minerales" (Carpintero, 2006: 147).

Las posturas de Samuelson, Friedman o Frances Cairncross (redactora jefe de *The Economist*) encajan en el segundo grupo. Samuelson afirma que "cuando los recursos comienzan a escasear [...] los precios suben" y su uso se hace más eficiente (Carpintero, 2006: 181). Para Cairncross (1996: 6) "los recursos naturales que corren menor peligro de agotamiento son los privados y los que se comercializan. A medida que escasean, suben los precios. Y esto anima probablemente a sus propietarios a conservar el suministro". Para Friedman no hay limitación de recursos, porque "cuando los recursos se vuelven realmente limitados los precios suben [...] Supongamos que el petróleo se vuelve escaso: los precios subirán, y se comenzará a buscar otros recursos energéticos" (Ravaioli y Ekins, 1995: 33). DeGregori afirma que "el papel central del conocimiento como recurso último y creador de minerales es (o debe ser) un principio fundamental de economía" (Bradley, 2007).

El tercer grupo es el más abundante. Schumpeter declara que "no hay ley de retornos decrecientes en relación con el progreso tecnológico". Zimmermann afirma que "el problema de la adecuación de recursos en el futuro será determinado más por la sabiduría que por los límites impuestos por la naturaleza". Y añade: "La sabiduría humana es el recurso principal, el recurso clave que abre el universo". Simon rechaza las ideas de escasez de Malthus y afirma que "la teoría de la invención endógena es más persuasiva". Hotelling se convirtió en el centro de la discusión académica sobre los recursos

naturales a partir de la publicación, en 1931, del artículo "The economics of exhaustibles resources". Parte de la asunción de que los recursos naturales son agotables, como su título refleja, pero sustituibles, y reflexiona sobre cuál es la tasa de explotación de los mismos que maximiza el beneficio, la cual dependerá de las premisas: perfecto conocimiento de las reservas, de las tecnologías de extracción, de los precios, de la tasa de interés, de los recursos alternativos, etc. (Bradley, 2007).

El cuarto tipo afirma que los recursos son agotables, por lo que hay que gestionarlos adecuadamente. Los autores que defienden este enfoque coinciden con otros muchos que han venido y vienen denunciando el proceso de agotamiento de recursos y que se inscriben, hoy en día, en la economía ecológica o sostenible. Paradójicamente, Jevons (uno de los tres responsables de la revolución neoclásica, que determina el despegue de la economía de la naturaleza) mostró su preocupación por el agotamiento del carbón en Gran Bretaña en su libro *The Coal Question*, de 1865. Le preocupaba que Inglaterra extrajera el 50% del carbón mundial, tanto para consumo interior como para exportar, siendo un país que tenía el 0,04% de la superficie mundial y el 2,5% de la población. A partir de la definición del segundo principio de termodinámica: la ley de la entropía (la energía usada no puede ser reciclada porque con el uso se degrada, la temperatura se reduce tanto que la energía no puede ser empleada: la entropía aumenta), muchos científicos han insistido en el carácter insostenible del crecimiento exponencial del consumo de recursos energéticos no renovables, como Carnot, Clausius, Cournot, Podolinsky, etc. En el campo económico, para Georgescu-Roegen la ley de la entropía representa una prueba insoslayable de que la energía no renovable se agota. Además definió la que denominó la cuarta ley de la termodinámica, con la que quiso expresar la imposibilidad del reciclado total de los materiales, porque la disipación de muchos de ellos imposibilita desde el punto de vista económico su reciclado. Sin embargo, la cuarta ley ha sido rechazada, incluso por sus seguidores. Y la ciencia de la termodinámica nunca la ha aceptado (Bradley, 2007).

Las posturas del tipo de la de Adelman tienden a desaparecer ante la evidencia creciente de la escasez de numerosos recursos. Pero siguen dominando en el campo ortodoxo los planteamientos de la combinación del mercado y el desarrollo tecnológico, variando mucho el énfasis de los autores en uno y otro factor. Así que los economistas ortodoxos viven, una vez más, de espaldas a otras ciencias y, en este caso, a las ciencias de la Tierra. Los geólogos nos muestran claros procesos de agotamiento.

CAPÍTULO 3

BASES E INSTRUMENTOS DE LA ECONOMÍA DEL MEDIO AMBIENTE

En la década de los sesenta comienzan a hacerse evidentes los problemas ambientales que estaban motivando el fuerte crecimiento económico de la posguerra y el desarrollo explosivo de la industria química. Como consecuencia, los gobiernos de los países OCDE, al verse presionados por la opinión pública, empiezan a definir normas de limitación de los impactos ambientales. Ante esta situación, la economía ortodoxa adopta la postura de considerar que tales gastos constituyen una traba al crecimiento y a la generación de empleo, porque se dice que aumentan la inflación, frenan la innovación y suponen un obstáculo al desarrollo del comercio. Por lo tanto, se admite, aunque de forma implícita, la incompatibilidad entre economía (identificada con crecimiento, como es habitual) y ecología. Un documento de la OCDE de 1985 reconoce la citada oposición de la economía ortodoxa, aunque la considera superada: "Hace quince años había gran preocupación porque la acción medioambiental podía suponer una pesada, si no intolerable, carga sobre las economías, disminuyendo el crecimiento, agravando el desempleo, aumentando la inflación, inhibiendo la innovación y distorsionando el comercio" (OCDE, 1985: 16).

A medida que el problema ambiental fue agravándose y alcanzando dimensiones planetarias, la economía ortodoxa no pudo seguir manteniendo la teoría de la incompatibilidad, porque hacerlo suponía la necesidad de sustituir la economía capitalista por otra, ya que resultaba suicida no adoptar medidas

para reducir el grado de insostenibilidad. Como este planteamiento resulta inaceptable para los defensores del sistema, la única vía de salida que queda es defender la compatibilidad entre crecimiento ilimitado y libre comercio, por un lado, y la protección de la naturaleza, por otro. Incluso se suele ir más lejos: defender que solo a partir del crecimiento y la liberalización económica se puede alcanzar la sostenibilidad, porque solo creciendo se podrá pagar la *factura ecológica*. La teoría que permite dar coherencia a este discurso es la de la valoración de los *bienes libres* o públicos (atmósfera, ríos, mares, etc.), es decir, aquellos que no pueden ser privatizados y mercantilizados. Para encargarse de la tarea de valorar los bienes libres o públicos, segrega una rama: la economía del medio ambiente (EMA). Esto permite al resto de los economistas ortodoxos mantener su discurso, porque *ya hay quien se encarga del problema*.

1. EL PRINCIPIO CONTAMINADOR-PAGADOR

El significado teórico del principio contaminador-pagador es que los costes de la eliminación de la contaminación deben ser soportados por el responsable. Es una consecuencia directa de la teoría de la valoración de los bienes libres, ya que a partir de esta valoración se determinaría el monto a pagar a la sociedad. No obstante, veremos que el pago exigido no se corresponde con el total del valor asignado, sino con el óptimo en el que se minimiza el total de los costes públicos y privados. Esto significa que existe un derecho privado de contaminar hasta el nivel óptimo. En la práctica, el pago se reduce —en el mejor de los casos— al coste de la reducción de la emisión contaminante hasta el nivel permitido por las normas ambientales. Éste es el sentido que le da la OCDE, que formula "el principio contaminador-pagador en términos generales en el sentido de que el contaminador soporta los costes del cumplimiento de las normas" (Pearce, Markandya y Barbier, 1994: 158). El Consejo de Ámsterdam lo incorporó al Tratado de la Unión. La Estrategia Revisada de Desarrollo Sostenible ERDS de la UE establece el principio de "hacer que el contaminador pague", lo que quiere decir: "garantizar que los precios reflejen los costes reales para la sociedad de las actividades de consumo y producción" (Consejo Europeo, 2006).

A este principio se le deben hacer, al menos, tres críticas de carácter teórico y otras tres relacionadas con su aplicación. Desde el punto de vista teórico, el principio contaminador-pagador se basa en la premisa de que el sistema funciona básicamente bien y que los casos de generación de impactos ambientales

pueden ser corregidos hasta límites soportables, obligando al agente a cumplir las normas de emisión. Por tanto, no hay necesidad de cambiar el modelo económico. En segundo lugar, este principio mercantiliza dimensiones de la vida que desde un punto de vista ético son inaceptables. Por último, legitima la contaminación para los que pueden pagarla. El Parlamento Europeo, en su Dictamen sobre el V Programa, pidió a la Comisión Europea que revisase el principio, "ya que nunca puede legitimarse la contaminación mediante una contraprestación económica" (Parlamento Europeo, 1993: 12).

Tres críticas a su aplicación práctica, que se refieren a quién paga, a cuánto se paga y al grado de cumplimiento. Por lo que respecta al primer punto, hay que decir que los empresarios siempre tratan de trasladar los costes a los consumidores: "Al igual que hacen con cualquier incremento de los costes, si los empresarios pueden pasar el incremento a los *consumidores*, lo harán así" (Pearce, Markandya y Barbier, 1994: 158). En segundo lugar, por lo general las empresas solo pagan una parte de los costes de cumplir las normas ambientales. Los Estados y la UE subvencionan sistemáticamente a las empresas para que adopten medidas anticontaminantes. El IV Programa de Actuación Ambiental de la CEE (1987-1992) propuso que, en el caso de contaminadores habituales, éstos pagaran los costes de control y de limpieza. Finalmente, el principio contaminador-pagador no se cumple en absoluto a nivel internacional. Son numerosos los Estados que sufren agresiones medioambientales procedentes de países vecinos, como es el caso de la lluvia ácida, la contaminación de ríos y de costas. No hay ninguna norma internacional que obligue a pagar al agresor. Sin embargo, la Declaración de Río aboga por la aplicación de este principio. El principio 13 declara que: "Los Estados deberán cooperar asimismo de manera expedita y más decidida en la elaboración de nuevas leyes internacionales sobre responsabilidad e indemnización por los efectos adversos de los daños ambientales causados por las actividades realizadas dentro de su jurisdicción, o bajo control, en zonas situadas fuera de su jurisdicción" (CNUMAD, 1993: 278).

2. LA TEORÍA DE LA VALORACIÓN DEL AMBIENTE

Para explicar la teoría de la valoración de los bienes libres nos basaremos en dos libros que dominan ampliamente el panorama de la EMA: *Blueprint for a Green Economy* (Esbozo de una economía verde), de Pearce, Markandya y Barbier (cuya primera edición en 1989 fue saludada por la prensa británica

como un acontecimiento intelectual), y *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*, de Pearce y Turner, que es el manual de economía ambiental más utilizado. Ambos libros han tenido un gran éxito editorial y convierten a Pearce, coautor de los dos, en el economista ambiental más influyente.

Si se parte de la premisa de que el mercado libre es eficiente, la única razón del problema ambiental es que se trata de *bienes libres*, es decir, bienes no apropiables privadamente, por lo que el mercado actúa sin tenerlos en cuenta. Y la actividad económica producirá efectos (externalidades), normalmente negativos, sin que medie ningún pago por ellos. Por lo tanto, la solución será determinar su correcto valor de mercado para que los agentes económicos tengan en cuenta los costes ambientales: "Uno de los temas centrales de la economía ambiental, que es central también al pensamiento sobre desarrollo sostenible, es la necesidad de asignar los valores adecuados a los servicios que provee el ambiente natural. El principal problema es que muchos de estos servicios son 'libres'. Tienen precio cero simplemente porque no existe mercado en el que su verdadero valor pueda ser manifestado a través de los actos de comprar y vender" (Pearce, Markandya y Barbier, 1994: 5, 7).

Defienden su teoría a partir de tres argumentos. Afirman que la valoración de los bienes libres es uno de los temas centrales de la economía ambiental, aunque se contradicen un poco al declarar después que es el único verdaderamente central, porque es central para la sostenibilidad. Conviene destacar la pretensión de calcular los "valores adecuados" de los bienes libres, porque, como añaden más adelante, éstos realizan una "función económica", es decir, contribuyen al bienestar humano, y "esta simple lógica subraya la importancia de valorar el ambiente correctamente y de integrar estos valores correctos en la política económica". Pearce y Markandya aportan el tercer argumento: frente al rechazo de muchos, por considerar inmoral dar un valor monetario al daño ambiental, éste se justifica porque el dinero "se utiliza como *la vara de medir* para indicar las pérdidas y ganancias en utilidad o bienestar". La razón es que "todos expresamos nuestras preferencias cada día en términos de dinero" (1989: 121). Lógicamente abundan los pronunciamientos a favor de la teoría, incluso en documentos que se suponen alejados de la ortodoxia económica. El principio 16 de la Declaración de Río afirma: "Las autoridades deberían procurar fomentar la internalización de los costes ambientales y el uso de instrumentos económicos, teniendo en cuenta que el que contamina debería, en principio, cargar con los costes de la contaminación" (CNUMAD, 1993: 278).

Una vez definidos los "precios correctos" de las funciones o servicios ambientales, hay que integrarlos en la política económica por medio de instrumentos económicos. Éstos deberán desplazar la política ambiental tradicional, predominantemente administrativa (*command-and-control*), que no se considera eficiente: "Hemos demostrado que la definición de estándares de contaminación incurre en mayores costes totales de consecución que los impuestos para alcanzar el mismo estándar" (Pearce y Turner, 1990: 96).

3. EL CONCEPTO DE EXTERNALIDAD

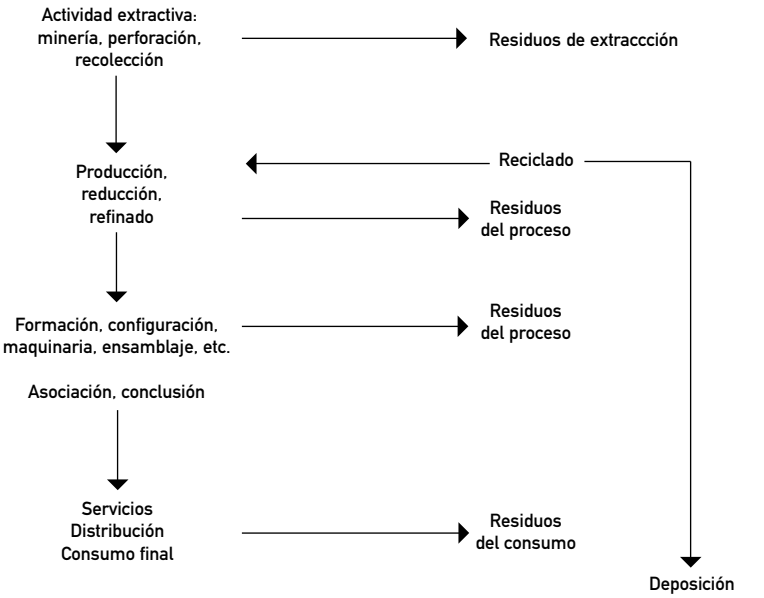
Pigou teorizó sobre los efectos no deseados de la actividad económica en la década de 1920. Le preocupaba que la actividad de los agentes económicos frecuentemente generara efectos colaterales no intencionados sobre otros agentes (que pueden ser beneficiosos o perjudiciales), sin que medie pago algunos por ellos, y deseaba que la economía reflejara mejor la realidad mediante una "adecuada contabilidad social". Para ello retomó el concepto de Marshall de *economías externas*, que expresaba estos efectos no deseados y que, al no dar lugar a los correspondientes pagos, eran externos al sistema. Para corregir estos efectos externos, o externalidades, Pigou sugiere que "las formas más conocidas para impulsar o restringir las inversiones pueden revestir el carácter de primas o impuestos" (Aguilera Klink, 1992). Sin embargo, las externalidades fueron arrinconadas hasta la década de los setenta, cuando se retomaron en un intento de integrar el problema ambiental en la economía.

Según Nath, se produce un efecto externo "donde, debido a la naturaleza actual de las instituciones económicas y sociales, se imponen costes a terceros, los cuales no reciben ninguna compensación, o se conceden beneficios a otros, por lo cual no reciben ningún pago" (Victor, 1974). Sin embargo, se utiliza en un sentido más restringido: el de los efectos ambientales de la actividad económica y, aunque se sabe que hay externalidades positivas (como la de la apicultura para la agricultura) y negativas, la EMA se centra solo en las negativas.

El concepto de externalidad se diseña para reflejar una realidad que se supone no habitual. Se considera que el mercado libre funciona básicamente bien y que las externalidades no constituyen, ni por su frecuencia ni por su magnitud, elementos que puedan poner en entredicho la afirmación primera. Sin embargo, en todas las fases de la cadena de producto se producen impactos, tal como se muestra en el gráfico 1.

GRÁFICO 1

GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LAS DIFERENTES FASES DEL PROCESO ECONÓMICO



FUENTE: DOOGE *ET AL.* (1992).

El concepto de externalidad se basa en la premisa de que los impactos ambientales son identificables en todas sus dimensiones, al ser éste un requisito ineludible para la valoración que se pretende hacer de dichos impactos. No obstante, a este respecto se reconoce de forma unánime una notable escasez de datos. A veces no está claro que exista un impacto ambiental, y éste se puede manifestar en modos y escalas de espacio y de tiempo muy diferentes. Varios biólogos del Centro para la Conservación Biológica de la Universidad de Stanford reconocen que "las respuestas de los ecosistemas a las perturbaciones, especialmente aquellas que suponen procesos no lineales e irreversibilidades, apenas han sido exploradas. Los ecólogos tienen poco más que un presentimiento sobre las repercusiones e interacciones inherentes a las actividades humanas, tales como la contaminación del mar y de los humedales costeros y la producción de las pesquerías" (Daily, Ehrlich y Alberti, 1996).

Nos encontramos, en consecuencia, con un instrumento concebido para resolver situaciones excepcionales, cuando en realidad los impactos ambientales constituyen una manifestación normal de la actividad económica, y se basa en premisas que no se cumplen. Esto es lo que pensaba Pearce antes de convertirse

en una figura dominante de la economía medioambiental: "Una política de corrección de las externalidades no puede de ninguna manera garantizar las precondiciones para la supervivencia de las especies [...] Si esto es correcto, aquellos economistas que han analizado los problemas ambientales en el contexto de la teoría de las externalidades pueden no solo estar recetando políticas incorrectas, sino que además están empleando bases conceptuales equivocadas para su análisis" (Aguilera Klink, 1992).

4. LA INTERNALIZACIÓN DE LAS EXTERNALIDADES

4.1. TÉCNICAS DE VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

El método de valoración de los bienes libres que se propone desde la EMA es el mismo que utiliza la economía ortodoxa para definir el valor de los bienes y servicios mercantiles. Como en el caso que nos ocupa no hay mercado, se trata de crear un mercado artificial mediante la estimación de las preferencias de la gente (preferencias declaradas), valoradas por la disposición a pagar por la mejora ambiental o por la disposición a recibir una compensación por su pérdida: "Dicho de la forma más simple, lo que buscamos es alguna expresión de cuánto está la gente dispuesta a pagar para preservar o mejorar el ambiente. Tales medidas expresan no solamente el hecho de una preferencia por el ambiente, sino también la intensidad de esta preferencia" (Pearce, Markandya y Barbier, 1994: 55). Existen dos procedimientos básicos de valoración:

- Buscar un bien mercantil cuyo precio se suponga que está influido por alguna variable ambiental. (Precios de propiedad hedonística y estimación de los costes de aproximación.)
- Crear un mercado en el que el valor del bien ambiental se determine a partir de cuestionarios mediante los cuales se pregunta a la gente, conforme a técnicas más o menos elaboradas, cuánto está dispuesta a pagar por tal bien o qué compensación aceptaría por perderlo. (Valoración contingente.)

La realidad práctica de la valoración ambiental es más compleja y se suelen mezclar diferentes técnicas en los estudios, como la de contabilizar los gastos que suponen las enfermedades o las muertes prematuras ocasionadas por los impactos ambientales o valorar por parte del equipo investigador los costes de los impactos ambientales complejos, como el cambio climático.

Precios de propiedad hedonística. Con esta técnica se trata de determinar, mediante procedimientos estadísticos, qué parte del precio de una propiedad (normalmente una vivienda) es debida a la situación ambiental de la zona en la que se encuentra ubicada y a partir de aquí inferir cuánto está dispuesta la gente a pagar por el bien ambiental. Habitualmente se tienen en cuenta tres variables ambientales: la contaminación del aire, la calidad del agua y el ruido. Pero surgen múltiples problemas al intentar definir la componente ambiental del precio, lo que lleva a Pearce y Markandya (1989) a declarar en un informe preparado para la OCDE que "la precisión con que se pueden cuantificar tales efectos [los ambientales] es, sin embargo, muy discutible".

Estimación de los costes de aproximación. Este método se utiliza para definir la demanda de espacios naturales valorada en función de la evaluación de los diferentes costes implicados en la visita a un espacio natural (costes de desplazamiento, tiempo invertido en el mismo y en la estancia), evaluados mediante el valor salarial del tiempo invertido. Con ellos se obtendrá una estimación de la predisposición a pagar de la gente y, por tanto, el valor monetario atribuido a dicho espacio. Aparte de las críticas generales a estas técnicas que realizaremos más adelante, se considera que la principal inconsistencia específica de esta técnica es que se basa en la valoración del tiempo empleado, cuando resulta evidente que las visitas se hacen en tiempo libre.

Valoración contingente. En este método la valoración se lleva a cabo preguntando a la gente cuánto está dispuesta a pagar por la obtención de un beneficio ambiental, o cuánto está dispuesta a recibir en compensación por tolerar un daño ambiental. La valoración se puede realizar mediante las respuestas a un cuestionario sobre un caso concreto, conocido previamente por las personas entrevistadas, o a través de la información facilitada por el entrevistador. Aunque se utilizan diferentes técnicas de encuesta, todas ellas tienen unos elementos comunes. En el caso de la predisposición a pagar, el encuestador realiza una primera propuesta de pago, que se supone será aceptada porque es baja. A partir de aquí, y a medida que la persona encuestada va aceptando las propuestas, el encuestador las va subiendo hasta que se rechace una. La anterior es la máxima predisposición a pagar por la obtención de un bien ambiental. En el caso de la predisposición a aceptar una compensación, la primera propuesta es alta y, en la medida en que sea positiva, se va bajando hasta que haya una que sea rechazada. La última aceptada constituye la mínima predisposición a recibir una compensación por tolerar un daño ambiental. Este método es el más

apreciado de todos porque puede aplicarse en múltiples circunstancias y, en consecuencia, porque "frecuentemente será la *única* técnica de estimación de beneficios" (Pearce y Turner, 1990: 148).

4.2. ANÁLISIS DE LA VALORACIÓN

Centramos el análisis en la valoración contingente por ser la técnica más utilizada y la que mejor entronca con las premisas de la EMA, y lo hacemos a la luz de cuatro parámetros: premisas ideológicas, requisitos de medición científica, Derecho ambiental y efectos discriminatorios.

PREMISAS IDEOLÓGICAS**.** En las técnicas a las que nos referimos se manifiesta una visión mercantilista, según la cual todo tiene su precio y las personas se mueven solo impulsadas por motivos económicos. También se manifiesta otra idea central de la economía ortodoxa: las personas se comportan en el mercado de forma racional: maximizan su utilidad. La EMA extiende este axioma a la valoración de los bienes ambientales que no tienen valor de mercado.

REQUISITOS DE MEDICIÓN CIENTÍFICA. No es lo mismo decir cuánto se está dispuesto a pagar que pagar efectivamente. En el contexto hipotético en que se formula la pregunta las personas tienden a mostrar una mayor predisposición a pagar de lo que harían en una situación real. En ésta el demandante puede tener acceso a una información importante sobre la mercancía objeto de compra, conoce su precio, y sabe que su decisión no va a influir en la de otros posibles compradores. Esto no ocurre con los bienes colectivos, y el conocimiento de la predisposición a pagar del resto de la gente influye en la decisión de los encuestados. Por último, existe un gran número de problemas ambientales y no parece factible andar preguntando a la gente por cada uno de ellos.

Uno de los requisitos de una medición científica es la consistencia de las mediciones, es decir, el grado de coincidencia de las mediciones realizadas con el mismo método e instrumento. Si los resultados son muy dispares, la medición no puede considerarse científica. Esto es lo que ocurre con la valoración contingente. Se ha comprobado que si se introducen ligeras variaciones en el método de realización de las encuestas, como por ejemplo variar la magnitud de la primera oferta de valoración, los resultados finales divergen ampliamente. Por otro lado, cuando se realizan estudios de valoración sobre un aspecto, como pueden ser los costes externos del transporte, con varios años de desfase resulta que las valoraciones de algunos factores cambian radicalmente, porque

sus impactos se conocen mejor. Esto ha ocurrido con los estudios de valoración de los costes externos del transporte por carretera para la UE.

Normalmente se considera que la predisposición a pagar es igual a la predisposición a recibir compensación porque es la única forma de que las funciones de costes sean continuas. Sin embargo, la psicología demuestra que la segunda es mucho mayor que la primera. Shorgen y Nowell (1992) señalan que en quince estudios realizados se ha encontrado que la predisposición a aceptar compensación suele ser del orden de cinco veces superior a la predisposición a pagar. Ward y Duffield informan de resultados similares en otras experiencias. En uno de los estudios la diferencia hallada era del orden de 75 veces (Bromley, 1995: 133).

Derecho ambiental**.** Al menos desde los años ochenta los países desarrollados han introducido cambios en el Derecho ambiental que cuestionan la legalidad de la valoración contingente. En la primera época de las políticas ambientales no existían leyes que reconocieran los derechos ambientales de las personas. A pesar de ello, muchas personas pensaban que tenían derecho a un medio ambiente sano y seguro, y no querían responder a la pregunta de cuánto estaban dispuestas a pagar. Por ejemplo, a finales de la década de los setenta un grupo de economistas de la Universidad de Wyoming trató de valorar, encuestando a la gente, el coste estético que suponía la pérdida de visibilidad causada por las emanaciones de una planta de energía eléctrica. Alrededor de la mitad de los encuestados rehusó colaborar (*The Ecologist*, julio-agosto 1992). Pero posteriormente se fueron aprobando leyes que reconocían el derecho a un ambiente sano. En EE UU, leyes como la CERCLA (*Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act*, 1980) y la OPA (*Oil Pollution Act*, 1990) reconocieron esos derechos. Lo mismo ocurrió en la UE con el Acta Única y el Tratado de Maastricht. El principio 1 de la Declaración de Río establece que "Los seres humanos [...] tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza" (CNUMAD, 1993: 277). En esta situación, preguntarle a la gente cuánto está dispuesta a pagar por evitar ciertos males ambientales es similar a preguntarle cuánto está dispuesta a pagar para que no le asalten en la calle (Bromley, 1995: 129 y ss.).

Efectos discriminatorios. Por último, la predisposición a pagar está en relación directa con el nivel de rentas, por lo que, según este criterio, los impactos medioambientales en las zonas pobres tendrán menor valor y los empresarios y los gobiernos tenderán a instalar las industrias e infraestructuras más impactantes en esas zonas. Este hecho es patente en EE UU, por lo que ha dado lugar al movimiento denominado de justicia ambiental.

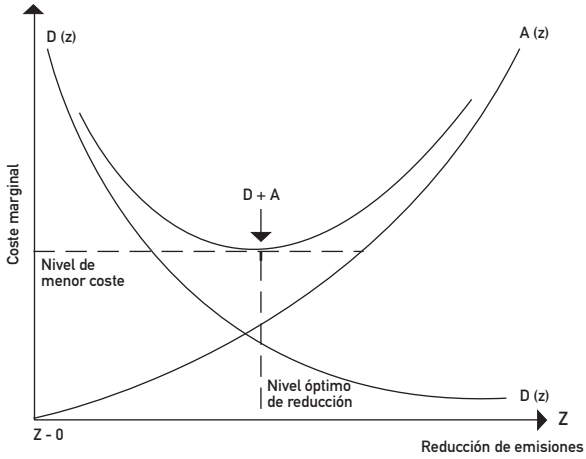
Pearce y Turner aceptan, al menos, algunas de las críticas realizadas: "Muchos de los tipos de daños resultaron ser imposibles de monetarizar, así que, si las cifras resultantes de la monetarización son aceptadas, el daño real excede el estimado" (123). Pero insisten en que "las unidades monetarias permanecen como el mejor indicador que tenemos" (1990: 121).

4.3. LA IMPOSIBILIDAD DE CALCULAR EL 'ÓPTIMO AMBIENTAL'

La EMA, obviando los derechos de las personas a vivir en un ambiente no degradado, considera que no se puede tener en cuenta solo los costes para la población de la degradación ambiental, sino que también los costes empresariales de reducción de los impactos. Por ello busca el coste mínimo de ambos, para lo cual utiliza las curvas clásicas de coste y beneficio que aparecen en el gráfico 2. En él se muestra que los costes empresariales de control de la contaminación (representados por la curva D) crecen exponencialmente a medida que las emisiones se reducen. También los costes sociales (definidos por la curva A) de la contaminación crecen exponencialmente con ésta. Por lo tanto, ambas curvas se cortan en un punto, que es el que determina aproximadamente el mínimo coste total, coincidiendo así los *óptimos económico y ambiental.*

GRÁFICO 2

CURVAS DE COSTES PRIVADOS Y COSTES SOCIALES DERIVADOS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL



FUENTE: AYRES (2008: 283), *ECOLOGICAL ECONOMICS 67*.

En consecuencia, la solución óptima no es eliminar la contaminación, "sino más bien asegurar la cantidad óptima de contaminación, siendo ésta la que va a maximizar el valor de la producción" (Coase, 1981). Este planteamiento debe ser criticado, al menos, desde una doble perspectiva: validez teórica y posibilidades de aplicarlo.

Desde el punto de vista teórico, se puede demostrar que no tiene validez alguna. Consideremos algunos posibles escenarios. Si los contaminantes no son bioacumulativos, se pueden dar dos situaciones. Una es que la contaminación correspondiente al punto X sea menor que la capacidad de carga del ecosistema en cuestión; en este caso no es necesario actuar, al menos desde el punto de vista de la economía ortodoxa. La segunda situación se produce cuando el nivel de vertido del punto X es mayor que el correspondiente a la capacidad de carga; entonces los impuestos diseñados no serán capaces de detener la degradación del ecosistema. Por último, si los contaminantes son bioacumulativos, se irán concentrando en el ecosistema hasta degradarlo, cualquiera que sea la contaminación del punto óptimo.

Por otro lado, al intentar establecer las curvas de oferta y demanda ambiental, topamos con barreras prácticamente infranqueables. Se pueden hallar los costes empresariales, pero solo de forma aproximada, por la resistencia de las empresas a dar una información fidedigna. Por el contrario, hemos visto que, a través de la técnica de la valoración contingente, es imposible construir la curva de costes sociales, por las desiguales valoraciones obtenidas con la predisposición a pagar y a cobrar. La curva es discontinua cuando se trata de aceptar la reducción de la calidad. Y si no se puede construir, tampoco se podrá calcular el punto óptimo.

5. INSTRUMENTOS DE MERCADO PARA LA INTERNALIZACIÓN DE LAS EXTERNALIDADES

Un informe de la OCDE (1994) define los instrumentos económicos como aquellos que "afectan las estimaciones de costes y beneficios de acciones alternativas abiertas a la acción de los agentes económicos". Se distinguen cuatro tipos de instrumentos: impuestos/tasas, subsidios, permisos de contaminación comercializables y sistemas de depósitos retornables.

Este organismo viene recomendando insistentemente el uso de instrumentos económicos en la política ambiental desde 1984. La declaración de la cumbre económica de los siete países más industrializados, celebrada en

Houston en 1990, urge a la OCDE para que diseñe mecanismos de mercado: "Animamos a la OCDE a acelerar su muy útil trabajo sobre ambiente y economía. Son de particular importancia el rápido desarrollo de indicadores ambientales y el diseño de mecanismos de mercado que pueden ser usados para lograr los objetivos ambientales" (OCDE, 1997*a*: 16). Ha redactado documentos sobre la materia de forma intensiva.

La defensa de los instrumentos económicos se basa en dos motivos: la deficiente aplicación de los instrumentos administrativos y, sobre todo, la mayor eficiencia que se atribuye a aquéllos. Algunas de las críticas —razonables— a los instrumentos administrativos por su deficiente aplicación son: multiplicación de regulaciones con poca coherencia entre ellas, lo que dificulta su aplicación; descoordinación de las regulaciones, ya que por lo general se dirigen a un medio sin tener en cuenta la incidencia sobre los otros; planteamiento demasiado puntual y localista, que no considera las repercusiones en ámbitos más amplios; carácter reactivo más que preventivo; instrumentos disuasorios excesivamente pequeños o de aplicación muy poco frecuente, lo que facilita un incumplimiento amplio; incidencia negativa de otras políticas sectoriales, que no tienen en cuenta la dimensión ecológica, etc. (OCDE, 1997*a*: 16). Los argumentos a favor de los instrumentos económicos suelen ser:

- Permiten alcanzar los mismos estándares de calidad ambiental que otros instrumentos pero con un coste menor. La razón es que los instrumentos de mercado permiten a los agentes económicos elegir el método más eficiente para responder a la señal del precio.
- Estimulan la innovación tecnológica en reducción de la contaminación porque los empresarios se enfrentan a costes siempre que emitan contaminantes, lo cual no ocurre cuando se les exige únicamente cumplir una norma administrativa.
- En general, los instrumentos económicos permiten recaudar fondos que pueden ser utilizados para financiar la política ambiental de los gobiernos (OCDE, 1998*a*: 27).
- Los costes de los impuestos y permisos comercializables pueden ser compensados mediante la rebaja de otros impuestos que los empresarios vienen pagando regularmente.
- Desaparecen los problemas morales que acompañan a los instrumentos administrativos. Cuando un empresario tiene que pagar una multa supone que ha cometido un delito.

- Desaparecen los problemas políticos y económicos (procesos de litigación prolongados) que acompañan a la asignación de recursos ambientales escasos; se deja que el mercado busque la solución más eficiente.

5.1. IMPUESTOS AMBIENTALES

La terminología fiscal española no es muy precisa, y no distingue claramente entre tributos, impuestos y tasas. Normalmente se usan de forma indistinta los términos "impuesto" y "tributo", refiriéndose a las cargas fiscales destinadas a financiar los gastos generales del Estado, sin un objetivo preciso. Se suele hablar de "tasa" cuando la carga sirve para pagar todo o parte de un servicio social. A esta falta de precisión se le une la confusión terminológica derivada de la traslación al castellano de términos anglosajones. Así, los impuestos ambientales, es decir, los que gravan actividades nocivas para el ambiente, se suelen denominar "ecotasas", que es una traducción incorrecta del término inglés *ecotax*, porque el equivalente inglés de "tasa" es *charge*. La inexactitud también se deriva de que algunos tipos de impuestos y tasas tienen efectos ambientales, aunque no fuera ése el objetivo de su implantación. Para evitar confusiones terminológicas, cada vez se utiliza más el término "impuestos y gravámenes" (*taxes and charges*) para todo pago sin contraprestación, tanto si se ingresa en el presupuesto del Estado como si se destina a fines concretos (Comisión Europea, 1997*a*: 4). La AEMA establece tres tipos de fiscalidad ambiental (AEMA, 1996: 15-16):

- Los gravámenes, que sirven para sufragar los costes —o parte de ellos— que se producen por el tratamiento de aguas y residuos.
- Los impuestos incentivadores, que pretenden cambiar los comportamientos dañinos para el ambiente, sin plantearse ningún objetivo recaudatorio.
- Los impuestos ambientales fiscales, que, aunque tienen motivos ambientales, cuentan con un gran potencial recaudatorio.

A pesar de estas distinciones, aquí, por agilidad expositiva y porque sigue siendo la denominación más empleada, utilizaremos el término "impuesto ambiental" (siempre que no se indique lo contrario). Y por impuesto ambiental entendemos, como es habitual, toda imposición que resulta en mejora de la situación ecológica, independientemente de los objetivos de los legisladores.

A continuación se repasan brevemente las razones que aportan los defensores de los impuestos ambientales. El argumento más importante es que internalizan las

externalidades. Además, se utilizan los siguientes argumentos: eficiencia, carácter dinámico, recaudación y creación de empleo. El carácter dinámico se manifiesta en que hay que pagar por unidad de emisión, incluso si el volumen total emitido está dentro de la norma, lo que supone un incentivo permanente para mejorar la calidad ambiental y la innovación tecnológica. La creación de empleo se defiende porque se pretende emplear la recaudación para rebajar la fiscalidad sobre el trabajo. Esto, junto con la mejora ambiental, da lugar a lo que se suele denominar *doble dividendo*.

Sin embargo, los impuestos ambientales constituyen un mecanismo de regulación del mercado, porque requieren un marco normativo y un control administrativo, aparte de que modifican los precios de mercado establecidos. Esto es lo que opina el Comité Económico y Social de la Unión Europea: "Los instrumentos económicos de la política de medio ambiente, sobre todo las medidas en forma de impuestos y tasas, requieren también un marco jurídico y un control administrativo. Por su naturaleza, estas medidas constituyen intervenciones frente al libre funcionamiento del mercado" (CES, 1992: 160).

A pesar de la defensa incondicional de organismos e instituciones como la OCDE, la UE, el PNUMA y de las organizaciones ecologistas, la fiscalidad ambiental no se consolida; antes bien retrocede desde las posiciones que alcanzaron en 1999 varios países de la UE. Ésta ha sido incapaz de impulsar la fiscalidad ambiental, debido a que los cambios fiscales necesitan la unanimidad de todos sus miembros. Ello ha provocado que en esos países la fiscalidad ambiental haya sido dirigida al consumo privado, porque las empresas rechazaron tales medidas argumentando que minaban su competitividad.

En cuanto a la capacidad para cambiar de forma sustancial los comportamientos, los estudios indican que el alcance de la fiscalidad ambiental existente es manifiestamente insuficiente para producir transformaciones sustanciales en la realidad actual. Esto queda reflejado, por ejemplo, en el estudio de la AEMA (2000*b*) *Environmental Taxes: Recent Developments in Tools for Integration*. En segundo lugar, hay que valorar si permiten conseguir los objetivos al mínimo coste. La AEMA (2008) cita un informe de la propia Agencia que "confirma una amplia falta de conocimiento [...] acerca de la efectividad de tales políticas", aunque ella se ha puesto la tarea de llenar tal vacío. De todas formas, el informe del año 2000 insiste en la dificultad de estimar la eficiencia porque no tiene claro "cómo debe ser definida y estimada", ya que los impuestos ambientales se aplican con otros instrumentos y porque "la falta de información relevante es frecuentemente un cuello de botella" (AEMA, 2000: 49). La AEMA (2008: 47) reconoce que la evaluación que ha realizado en varios países refleja que "*efectos de los impuestos en relación con los objetivos nacionales dan resultados diversos*" (el énfasis es de la

AEMA). Como contraposición, existe una larga lista de argumentos y realidades que muestran las limitaciones de este instrumento:

- El sistema de impuestos puede llegar a ser muy complejo y costoso. Sobre todo si se quiere adaptarlos a las diferentes situaciones locales y regionales: "Si se pretende poner impuestos que tengan una cierta relación con el daño producido, será necesario variar los impuestos a las fuentes, ya que los diferentes puntos de recepción tendrán diferentes capacidades de asimilación de la contaminación" (Pearce y Turner, 1990: 115).
- Los efectos de los impuestos son inciertos, porque no se puede conocer con precisión la respuesta de los agentes económicos.
- La capacidad de mejorar la calidad ambiental se ve erosionada por la inflación.
- Los impuestos ambientales son indirectos y por tanto regresivos: afectan más a las capas de rentas bajas que a las altas.
- Existe una contradicción entre los objetivos de mejorar la calidad ambiental y recaudar: cuando uno de los factores sube, el otro baja.
- Los impuestos ambientales son injustos, porque constituyen un derecho a contaminar y a usar recursos escasos por parte de las personas de rentas altas.

5.2. SISTEMAS DE CERTIFICADOS DE CONTAMINACIÓN/EMISIÓN COMERCIALIZABLES

En este apartado analizaremos dos sistemas: el de certificados de contaminación comercializables y el de emisiones comercializables. Pero antes de hacerlo es necesario dejar constancia de que el planteamiento general de estos sistemas parte, al igual que las normas, de fijar unos estándares físicos que los agentes deben cumplir. La diferencia está en la forma de conseguirlo.

5.2.1. Sistemas de certificados de contaminación

Los gobiernos emiten permisos de contaminación en cantidad adecuada al cumplimiento de los objetivos ambientales propuestos, permisos que son cedidos a las empresas en función de sus emisiones pasadas y que pueden ser comprados y vendidos según sea conveniente. A pesar de que su implantación solamente es extensa en EE UU (donde han conocido un desarrollo significativo para el aire), aquí analizamos estos sistemas con cierta extensión, dada la importancia que les concede la economía ortodoxa. Se les atribuyen las ventajas siguientes:

- Su eficiencia es grande en relación con otros métodos. La OCDE afirma: "La principal característica de este instrumento es su potencial de ahorro de costes" (1997*b*: 17).
- Evitan las incertidumbres sobre los estándares que se alcanzarán, porque la cantidad de permisos emitidos determina la calidad ambiental.
- La inflación no erosiona la capacidad incentivadora de este instrumento, porque el mercado la tiene en cuenta al fijar los precios de los permisos (Tietenberg, 1998).
- Se puede alcanzar una calidad ambiental mejor si una ciudadanía sensibilizada decide comprar permisos. Pero Pearce y Turner dicen que esta ventaja corre el peligro de desaparecer si la administración considera que sus objetivos han sido modificados y emite permisos adicionales en la siguiente sesión (1990).
- Se evitan los problemas administrativos que se producen cuando se quiere obtener un único estándar de calidad ambiental en todos los lugares a partir de impuestos, porque hay que concebir impuestos para cada situación (Pearce y Turner, 1990).
- Son compatibles con la regulación directa, como los requerimientos técnicos para equipos modificados o nuevos (OCDE, 1997*e*: 17).
- La creación de nuevas empresas o la ampliación de las existentes no provoca más deterioro ambiental, porque el número de permisos es fijo (Tietenberg, 1998).
- Se adaptan a la caída de costes de las tecnologías menos contaminantes bajando sus precios (Tietenberg, 1998).

La Agencia Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) ha establecido un programa para la implantación del sistema que afecta a los principales focos de cinco contaminantes atmosféricos: hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, partículas, óxidos de azufre y monóxido de carbono. El sistema es el habitual: las empresas reciben permisos de emisión y los pueden comprar y vender. Para su aplicación ha diseñado un complejo entramado regulador de este mercado. Establece diversas categorías de focos emisores: focos de contaminación existentes a mediados de los setenta; nuevos focos, que corresponden a nuevas plantas; y focos modificados, que corresponden a plantas existentes a mediados de los setenta y que han ampliado sus instalaciones, lo que ha provocado un incremento de las emisiones. También distingue entre áreas que rebasan las normas de calidad del aire y áreas que tienen una calidad adecuada. Estos factores limitan las opciones de comercialización. Los intercambios permitidos son:

- *Netting*. Permite a una planta modificada aumentar sus emisiones si otra planta de la misma empresa reduce sus emisiones de tal forma que la emisión total no aumente. Este programa es controlado a nivel estatal.
- *Offsets*. Una planta nueva puede entrar en un área que no cumple la norma de calidad si la empresa compra en la misma área los permisos correspondientes. Algunos estados le obligan a comprar más permisos de los necesarios para mejorar la calidad del aire.
- *Banking*. Permite a una empresa que reduce sus emisiones ahorrar los permisos correspondientes en previsión de necesidades futuras.
- *Bubbles*. Consiste en que una planta con múltiples focos se ve obligada a cumplir sus compromisos de emisión globalmente, de forma que los excesos de emisiones de unos focos pueden ser compensados con reducciones en otros.

Las estimaciones sobre los resultados de la aplicación del sistema son muy dispares, pero se admite que la inmensa mayoría de los ahorros obtenidos provienen de los intercambios de permisos entre plantas de una misma empresa o entre focos de una misma planta, de los programas *netting* y *bubbles*. La OCDE considera que "el ahorro de costes realizado proviene casi enteramente del comercio interior", y añade que "es virtualmente imposible determinar cuánto de la mejora de la calidad del aire, si ha habido alguna, puede atribuirse directamente al programa de permisos comercializables" (1997c: 59-60). Pero lo que se denomina mercado interno no es propiamente un mercado, es decir, la venta de algo de un agente económico a otro. Tietenberg estima que el *netting* es un "alivio regulatorio" (1998: 243), y lo mismo puede decirse del programa *bubbles*. Los trámites para conseguir que una transacción sea aprobada son largos y costosos, y solo el 20% de las peticiones son admitidas en los términos propuestos. Un 40% se rechaza sin más consideraciones.

El coste de los trámites supera frecuentemente el de los permisos de contaminación y son causados por la necesidad de registro, verificación, certificación, compra-venta de certificados, seguimientos, etc. Pero si las empresas tuvieran que pagar por los permisos de contaminación inicialmente repartidos, los costes totales serían mucho mayores. Por ello domina el reparto gratuito (OCDE, 1998: 248).

Como en todos los casos de aplicación de este instrumento, en EE UU se ha producido una gran concentración de permisos. W. E. Oates y P. R. Portney (1996: 367) consideran que se han producido "desafortunadas restricciones en el comercio" de estos permisos, "que han puesto de manifiesto incertidumbres serias acerca de la posibilidad de obtener estos derechos en el mercado cuando se necesiten".

Por otro lado, si se pretendiera —como parece lógico— alcanzar una calidad ambiental aceptable en todos los puntos, el sistema sería tan complejo que no funcionaría (Pearce y Turner, 1990: 117). Tietenberg reconoce que cuando hay que tener en cuenta la calidad ambiental de cada zona, las ventajas de este sistema no son tan claras. De ahí que las administraciones adopten sistemas mixtos; es decir, se evitan grandes concentraciones puntuales de contaminación, pero no se alcanza una calidad ambiental uniforme (1998: 249).

Este sistema premia a las empresas históricamente más contaminantes. Discrimina a las nuevas empresas frente a las ya establecidas, ya que tienen que comprar los permisos a las existentes para poderse instalar, lo que constituye una barrera de entrada y un freno a la innovación tecnológica que aportan especialmente las empresas nuevas. Los permisos conceden un derecho de propiedad porque son indefinidos y no están ligados a la vida de las plantas, cuya existencia ha dado lugar al derecho. Lo avalan las sentencias judiciales. Por último, la eficiencia del sistema está por demostrar. En EE UU el sistema de emisiones de SO_2 redujo en un 50% la contaminación. Pero en Alemania una política regulatoria redujo en un 90% las emisiones de SO_2 y NOx (Maro, 2007).

Ante estos resultados, la OCDE tiene que reconocer que existe "una evidencia limitada acerca de la eficiencia de los instrumentos económicos", pero atribuye la culpa a los "términos extremadamente restrictivos en los que el comercio ha sido permitido" (1997*e*: 53). La EPA estima que hay unos treinta estudios teóricos sobre los mecanismos de mercado y que todos respaldan la eficiencia de estos sistemas, pero que "los estudios retrospectivos han encontrado que los ahorros en la actualidad son muy inferiores al potencial, particularmente en el caso de muchos sistemas comercializables" (http://yosemite.epa.gov).

5.2.2. Sistemas de certificados de emisión de gases de efecto invernadero

Entre los mecanismos que se contemplan en el acuerdo de Kioto para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), EE UU introdujo un mecanismo de derechos de emisión comercializables que se basa en la misma filosofía que los sistemas anteriores. A pesar de ello no lo ratificó.

El Protocolo de Kioto

Supone un acuerdo entre la mayor parte de los países OCDE para reducir las emisiones de GEI en el periodo 1990-2010. Aparte de estos países (conocidos como los del Anexo I), otros muchos No-OCDE se adhirieron al protocolo, pero sin compromisos de reducción. El acuerdo establece que los países del Anexo I

reduzcan sus emisiones en un 5%, salvo la UE, que se comprometió a reducirlos en un 8%, pero con un sistema burbuja (*bubble*). Los Estados miembros tienen cuotas que van desde reducciones muy superiores al objetivo general hasta permisos de aumentar sustancialmente sus emisiones, pero si cada país cumple sus objetivos se alcanza el objetivo general.

El cumplimiento de los compromisos fue facilitado por el establecimiento de "mecanismos de flexibilización", que suponen que los países pueden cumplir sus cuotas mediante: la compra de derechos de emisión a los países que tuvieran emisiones para vender (sobre todo, Rusia, porque se le asignó como derechos de emisión la fuerte reducción que produjo el colapso de la URSS); la "financiación conjunta", por la cual un país del Anexo I puede invertir en otro del mismo grupo en proyectos que reduzcan las emisiones que le son asignadas; y el "mecanismo de desarrollo limpio", según el cual los países del Anexo I contabilizan como propias las reducciones de emisiones producidas en países No-OCDE fruto de inversiones en ellos.

El protocolo tiene aspectos positivos: el amplio acuerdo internacional alcanzado en que hay que actuar rápidamente para atajar el problema, para lo que definen objetivos de reducción; este hecho ha propiciado un gran salto en el tratamiento mediático del problema; la creación de un organismo que, además del acuerdo alcanzado, sigue trabajando en nuevos acuerdos. Por el contrario, el acuerdo es manifiestamente insuficiente: los objetivos de reducción son pequeños y se contemplan múltiples mecanismos para evitar que sean cumplidos en su integridad por los países signatarios; no tiene en cuenta que la gran mayoría del CO_2 emitido históricamente es responsabilidad de los países industrializados y que, por tanto, existe una deuda histórica con el resto de países; el mecanismo de desarrollo limpio descansa en la plantación de árboles de crecimiento rápido y hay dudas sobre su capacidad de secuestrar CO_2, teniendo en cuenta su rápida tala; y, teniendo en cuenta que la reducción necesaria de emisiones pasa por transformar especialmente los modelos energéticos y de transporte, se necesita para ello políticas multiformes e integradas, en lugar de actuaciones puntuales y a veces efímeras.

El sistema de la UE sobre derechos de emisiones

La UE se ha dotado de un sistema de comercio de derechos de emisiones semejante al que utiliza EE UU para la contaminación del aire. Consta de dos fases: la de 2005-2007 y la de 2008-2020. En la primera fase solo han sido considerados los sectores industriales más intensivos en energía (generación de electricidad, refinerías de petróleo, siderurgia, cemento, etc.). El segundo sistema fue aprobado dentro del "paquete energético" sobre el que se llegó a un acuerdo

en diciembre de 2008 y que incluía los objetivos a alcanzar en la aportación de las energías renovables (20% en 2020) y en mejora de la eficiencia (20% en 2020). También establece un 20% de las emisiones de CO_2 equivalentes (se reduce el efecto invernadero del resto de los gases que lo provocan a emisiones de CO_2) (Comisión Europea, 2008*a*). Posteriormente ha aprobado el objetivo de reducción del 30% condicionado a un acuerdo mundial de reducción.

El primer periodo fue un fracaso, porque se repartieron tantos permisos de emisión que el precio de la tonelada equivalente de CO_2 cayó casi a cero en la fase final. La nueva política establecida en 2008 mejora la anterior en varios aspectos: se establece una reducción del 21% en los permisos de emisión; se amplían los sectores industriales involucrados (petroquímica, amoniaco y aluminio); se incluyen el transporte aéreo y el marítimo (aunque no se establecen medidas, a la espera de un acuerdo internacional; y si éste no se produce, en 2012 se definirán); se amplían los gases (óxido nitroso y un gas industrial); se establece la política de que la mayoría de los permisos sean subastados. En este caso se pretende pasar de la situación de 2008, en la que el 90% de los permisos se distribuían sin coste (sistema *grandfathering*), a que el 88% sean subastados ya en 2013, un 10% se distribuirá en función de criterios de solidaridad y el 2% se asignará a un grupo de países del Este. Se permite que el 3% de las emisiones de 2005 puedan conseguirse mediante los mecanismos establecidos con países fuera de la UE, siempre que el total de certificados de emisiones logrados no supere el 50% de las reducciones que cada país debe conseguir. Para el resto de los sectores que no entran en el sistema (especialmente el transporte por carretera) se aplicarán impuestos sobre emisiones y mejoras obligatorias de eficiencia (Comisión Europea, 2008*a*).

Es indudable que este sistema mejora el primero. Pero deja fuera el transporte por carretera y no es probable que se aprueben medidas fiscales, que requieren el apoyo unánime de los países. El sistema es muy complejo (aparte de que son 27 los países involucrados), porque contempla numerosas excepciones, supedita las medidas en algunos sectores al logro de acuerdos internacionales, etc. La verificación de la aplicación de un sistema tan complejo requiere de un enorme aparato administrativo, que no se va a crear. Hemos visto que en el sistema estadounidense, que es mucho más simple, los costes administrativos soportados por las empresas eran muy superiores al precio de los permisos. Por último, más adelante veremos que el extraordinario impacto de las escaladas de precios del petróleo que se producirán en el futuro tiene tal capacidad de reducir las emisiones de CO_2 que ridiculizará el enorme y costoso montaje que ha creado la UE.

CAPÍTULO 4

LIBRE COMERCIO Y SOSTENIBILIDAD

Este capítulo parte del análisis de las contradicciones teóricas en que se incurre para compaginar la protección ambiental y la liberalización del comercio. A continuación analiza la contribución del sistema del GATT/OMC a la insostenibilidad del modelo económico de los acuerdos multilaterales medioambientales, el carácter antagónico entre ambos y los esfuerzos de reforzar el estatus del sistema de protección internacional de la naturaleza frente al sistema de la OMC. Concluye con una reflexión sobre los factores que invalidan el proceso globalizador y al propio organismo.

1. LA CONTRADICCIÓN ENTRE LA MONETARIZACIÓN DE LA NATURALEZA Y LA LIBERALIZACIÓN ECONÓMICA

La economía ortodoxa defiende la valoración de los bienes libres, que se obtienen básicamente de tres factores: magnitud del problema, nivel de renta y grado de conciencia ecológica. La valoración resultante hay que introducirla en el mercado, y normalmente se postula que se haga mediante la aplicación de impuestos equivalentes. Pero la OCDE admite que las situaciones (y por tanto las valoraciones) son muy diversas: "En primer lugar, puede haber diferencias importantes entre los países en cuanto a su vulnerabilidad a la degradación del medio ambiente; cuando la capacidad

del medio ambiente para asimilar la contaminación es muy fuerte, la política puede ser menos restrictiva. En segundo lugar, como las rentas difieren mucho de unos países a otros, es lógico que difieran también sus preferencias hacia la calidad del medio ambiente nacional" (1993: 84).

Si los factores que determinan la valoración son muy dispares de un país a otro, los impuestos también lo serán y, en un contexto de liberalización del comercio como el actual, las empresas de los países con impuestos más altos verán mermada su competitividad. Esta situación es reconocida frecuentemente en los textos de la OCDE y de la UE, pero no pueden aceptar sus consecuencias, de ahí que siempre busquen una salida falsa: la coordinación de las políticas ambientales. El citado informe de la OCDE admite que "la aplicación de tasas medioambientales u otras medidas estrictas de política de medio ambiente, sin coordinación, se acompaña de costos en términos de competitividad" (1993: 86). La Comisión Europea reconoce también que "las condiciones, valores y prioridades" son muy diversos según los países, y declara que estas variaciones "pueden solucionarse con frecuencia de forma eficaz mediante la armonización o la coordinación internacional de las políticas de medio ambiente" (1996: 12).

Pero esta solución carece de rigor, porque si los costes son dispares, ninguna coordinación o armonización evitará que sigan siéndolo. En ningún caso se profundiza en esta propuesta; se queda en una mera declaración, sin consecuencias prácticas. La OCDE y la AEMA admiten que la pérdida de competitividad ha obligado a no aplicar la alta fiscalidad sobre la energía existente en algunos países nórdicos a las empresas más intensivas en energía (OCDE, 1993: 96; AEMA, 1996). Éste es el caso de Suecia, Dinamarca, Noruega y los Países Bajos. Y esto ocurre en el seno de la UE, donde existe una política ambiental común e instituciones de coordinación de las políticas sectoriales.

Si los impuestos ambientales no se pueden aplicar a las empresas que más recursos consumen y más contaminan para evitar su pérdida de competitividad, la teoría de la internalización de las externalidades deja de ser, en general, operativa, al entrar en abierta confrontación con el libre mercado. El mercado, por lo tanto, no recibirá las señales correctas y los comportamientos seguirán siendo antiecológicos, según la lógica del pensamiento que aquí se analiza. Existe, en consecuencia, una contradicción entre pedir que se internalicen los costes ambientales y prohibir las barreras aduaneras para las mercancías que no los soporten. Así lo entienden Daly y Goodland: "Hay una clara inconsistencia entre una política nacional de internalización de costes y una política internacional de comercio desregulado con naciones que no internalizan los costes" (1994: 78).

2. LA CONTRADICCIÓN ENTRE LIBERALIZACIÓN Y SOSTENIBILIDAD

Abundan las declaraciones de las instituciones económicas y de gobierno de que, en principio, no existe contradicción entre el libre comercio y la sostenibilidad. Y, una vez más, los argumentos se repiten. El Banco Mundial (BM), en su *World Development Report 1992*, afirma que "la causa principal de los problemas del medio ambiente no es la liberalización del comercio, sino la incapacidad de los mercados y poderes públicos para tener en cuenta de manera adecuada el medio ambiente en los precios" (1993: 67). Aunque aquí se atribuye parte de la culpa a "los mercados", en realidad la única responsabilidad que en esencia se plantea es la de los gobiernos. La Comisión Europea (2006) afirma que "la liberalización comercial puede promover el desarrollo sostenible [...] por medio de un uso más eficiente de los recursos ambientales". Pero, por el contrario, puede generar impactos ambientales negativos, "particularmente si la estructura de regulación doméstica no es adecuadamente desarrollada".

No obstante, resulta evidente que la liberalización reduce la capacidad de regulación doméstica: "La globalización reducirá la capacidad de los gobiernos nacionales para actuar *unilateralmente*" (OCDE, 1997: 8). Un informe de la OIT declara que "la globalización de la economía y la mayor competencia internacional resultante han limitado las posibilidades de los gobiernos de aplicar políticas económicas autónomas" (Parlamento Europeo, 1996: 33). A pesar de que esta tendencia cuestiona la teoría de la responsabilidad de los gobiernos, es necesario mantenerla porque, si no, todo el edificio teórico se viene abajo. El argumento empleado es que aún queda un amplio margen de autonomía. La Comisión Europea (1996: 12, 17) declara: "Está ampliamente admitido que el margen de maniobra de los países sigue siendo muy amplio", pero exige el buen uso de ella: "Las normas comerciales autorizan a los países a adoptar todas las medidas necesarias para proteger el medio ambiente en su propio territorio, a condición de que estas medidas no sean discriminatorias, ni arbitrarias, y no consistan en restricciones encubiertas del comercio internacional". El aviso se repite de forma idéntica en los textos de la OCDE, de la UE, de la Cumbre de Río, de la OMC, etc.

Sin embargo, existe una amplísima evidencia empírica de que la liberalización impide que los gobiernos promuevan la sostenibilidad: los deja sin respuestas frente a las agresiones ambientales externas (lluvia ácida, ríos comunes contaminados, cambio climático, agujero de la capa de ozono, etc.); elimina los controles fronterizos; somete a los gobiernos a una presión para rebajar las políticas ambientales; dificulta la aplicación de técnicas de gestión sostenible de productos; intensifica los flujos de materiales y su longitud.

La liberalización dificulta el cumplimiento de las normas reguladoras del comercio internacional, tanto por razones ecológicas como sociales, sanitarias, etc. Este hecho ha dado lugar a un enorme comercio internacional de especies y productos prohibidos, tal como se verá más adelante, que ya predijo a principios de la década de los noventa la organización WWF en relación con el tratado de libre comercio de América del Norte (NAFTA, por sus siglas en inglés): "estimulará todavía más el comercio, tanto legal como ilegal, de pieles, objetos exóticos de cuero, papagayos, aves de presa disecadas, productos derivados de tortugas marinas y otras especies amenazadas muy valiosas". Está ampliamente documentada la sobreexplotación de caladeros (Sumaila *et al.*, 2007) y la deforestación de países No-OCDE. La imposición del FMI a Indonesia de reducir el arancel a la exportación de madera del 200% al 10%, en 2000, supuso más que duplicar el ritmo de tala anterior (Shimamoto, 2008). Muchos ecólogos consideran que el problema ambiental más importante es el impacto homogeneizador y degradador de la biota mundial que el comercio está provocando es la "polución biológica", provocada por el transporte las especies de unos países a otros asociada al comercio.

El hecho de que muchos países tengan unas políticas ambientales muy laxas, sin que ello suponga ningún tipo de penalización sino, ventajas en el comercio internacional, constituye una presión desreguladora sobre los países más avanzados. Cuando se quiere aplicar el análisis de ciclo de vida de los productos, "la globalización, combinada con la creciente importancia de los aspectos ambientales, intensificará el conflicto entre la tradicional perspectiva de que 'un producto es sus características físicas' y la perspectiva de 'ciclo de vida', que busca analizar las externalidades ambientales en cualquier lugar en el que pueden originarse" (OCDE, 1997: 49). La liberalización uniformiza los productos y las tecnologías, lo cual implica dificultades para poder adaptarlas a las particularidades ecológicas de cada lugar: "El acceso a tecnologías extranjeras puede desplazar las tecnologías internas existentes, que están mejor adaptadas a las condiciones ambientales locales" (OCDE, 1997: 67).

En los últimos cincuenta años el producto económico mundial se ha quintuplicado, mientras que el comercio se ha incrementado catorce veces. En EE UU los alimentos comercializados recorren como media 3.000 millas. Esta dinámica está provocada por dos fenómenos: por un lado, la liberalización incrementa el comercio; por otro, produce la distribución por todo el mundo de las diversas fases de las cadenas de producto, de forma que, antes de que se produzca la venta internacional del producto final, ha sido necesario un nutrido comercio de componentes del mismo. Estos factores provocan el incremento de

las necesidades de transporte y sus consecuentes impactos: consumo de energía, contaminación y los impactos asociados a la proliferación de infraestructuras de transporte. La Comisión Europea (2008: 14) afirma que "el transporte físico de productos exportados al final de su vida y de materias primas importadas [...] conlleva un perjuicio ambiental notable".

3. LAS CONTRADICCIONES ENTRE EL SISTEMA GATT-OMC Y LA SOSTENIBILIDAD

3.1. EL SISTEMA GATT-OMC

El Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT, por sus siglas en inglés) fue creado en 1947 con los objetivos de propiciar la reducción y eliminación de aranceles y la eliminación de otros tipos de obstáculos al comercio. Entre 1948 y 1994 se culminaron ocho procesos negociadores (Rondas). La última, llamada Ronda de Uruguay, aprobó la creación de la Organización Mundial de Comercio (OMC), la cual fue creada en 1994. Adoptó íntegramente la normativa y régimen de funcionamiento del GATT. La liberalización comercial que promueve el GATT-OMC descansa en tres principios: el de nación más favorecida (art. I), el de no discriminación o reciprocidad (art. III) y el de prohibición de restricciones cuantitativas (art. XIII). El art. I establece que no deben existir tratos especiales, beneficiosos o perjudiciales, para con ningún país. El art. III defiende que no debe darse a los productos importados un trato distinto del que tienen los productos autóctonos. El art. XIII prohíbe la adopción de cuotas que limiten la magnitud del comercio.

El GATT-OMC tiene la posibilidad de regular el comercio por motivos ambientales basándose en los apartados *b* y *g* del artículo XX. En ellos se admiten las restricciones al comercio "necesarias para la protección de la salud y de la vida de las personas y los animales o la conservación de los vegetales" (apartado *b*) o "que se refieran a la conservación de los recursos naturales no renovables" (apartado *g*), pero inmediatamente se añade (como es habitual) que estos casos no deben constituir "una arbitraria e injustificable discriminación entre países". Estos apartados no demuestran la sensibilidad ambiental del GATT porque fueron redactados antes de 1947 y reflejan las preocupaciones de la época (como los riesgos sanitarios generados por el comercio de alimentos y de animales vivos contaminados). Además, los países que quieran acogerse a este artículo deben demostrar que existe una evidencia científica que justifique

esta pretensión (es lo que se denomina *justificación provisional*) y que las medidas adoptadas son las que menos repercuten en la libertad de comercio (*justificación final*). La justificación provisional invalida la aplicación del principio de precaución (PNUMA e IIDS, 2000: 32).

La práctica del GATT muestra que nunca consideró la variable ambiental como una justificación para regular el comercio y la OMC continúa la misma trayectoria, pero intensificándola, a pesar de que en el preámbulo del documento de creación se apoya el desarrollo sostenible y de que creó en su seno la Comisión de Comercio y Medio Ambiente. Pero el desarrollo sostenible no constituye un principio guía, como los tres artículos citados, porque "la preocupación por la equidad, el medio ambiente y el desarrollo es incompatible en gran medida con el implacable enfoque mercantilista de las negociaciones comerciales" (Halle, 2009: 356). Su primera decisión fue obligar a EE UU a rebajar los estándares de limpieza de las gasolinas importadas, establecidos por la Ley del Aire Limpio.

3.2. LOS ÁMBITOS DE CONTRADICCIÓN

Los ámbitos de contradicción son numerosos, por lo que nos limitaremos a analizar la política de la OMC sobre los procesos y métodos de producción (PMP), los acuerdos sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias y el Principio de Precaución.

Las normas ambientales y los procesos y métodos de producción

La regulación del comercio por motivos ambientales la pueden realizar potencialmente los Estados sobre los productos y sobre los PMP. Cuando un Estado quiere proteger su ambiente de las actuaciones de otros Estados, actúa sobre los productos importados, bien porque son éstos los causantes de los problemas, bien porque lo han sido los PMP. Pero esta distinción resulta cada vez menos clara. Algunas medidas relativas a los PMP pueden cambiar características del producto, como ocurre con los productos agrícolas en cuya producción se utilizan plaguicidas peligrosos. La OMC considera que estos productos y los orgánicos son semejantes, por lo que no se puede limitar el comercio de los primeros. La OMC no cuestiona el derecho a regular el comercio de productos (siempre que se haga dentro de unos límites cada vez más estrechos), pero si no se hace en base a los PMP.

Las medidas proteccionistas de un país motivadas por los PMP de otros países pueden tener dos tipos de causas: el país en cuestión soporta agresiones directas de carácter ambiental como consecuencia de los PMP, o pretende proteger la biosfera,

porque la agresión a la misma normalmente también le afecta. Al no existir ninguna instancia internacional a la que pueda acudir el país en cuestión, no le queda más remedio que actuar sobre las exportaciones del país agresor. El GATT estableció jurisprudencia sobre las limitaciones al comercio en función de los PMP mediante la resolución sobre la disputa entre EE UU y México a cuenta de la prohibición estadounidense a la importación de atún de aleta amarilla. El origen de la disputa es que el arte utilizado en la pesca del atún causa una gran mortandad entre los delfines (a finales de los ochenta, se llevaban contabilizados más de siete millones de muertos y en la zona objeto de litigio se estaban matando 100.000 delfines al año). En 1988 el Congreso de EE UU actualizó la Ley de Protección de Mamíferos Marinos de 1972 para incluir el caso de la importación de atún, estableciendo para 1990 un ratio de delfines muertos para el atún importado un 25% superior al existente en el país. Pero la resolución del GATT invalida la norma por dos motivos:

- Los PMP no son base para limitar el comercio: "Un miembro del GATT no puede hacer distinción entre productos en función de la manera en que han sido producidos, aunque la parte importadora haya determinado la ilegalidad o limitado un método de producción empleado por su destructividad ambiental" (De Belleuve *et al*., 1994: 55 y ss.).
- Son ilegales las medidas que un país adopta para proteger los ecosistemas planetarios: "Esto supone que son 'inequívocamente' ilegales las medidas promovidas por las naciones individualmente para conservar animales salvajes y ecosistemas fuera de las fronteras nacionales, incluidos los océanos y otros bienes comunes de la humanidad" (De Belleuve *et al.*, 1994: 55 y ss.).

La trascendencia de esta resolución está en que invalida *de facto* los AMMA y la capacidad de los gobiernos para proteger la vida salvaje no solo del planeta, sino incluso dentro de sus territorios, porque la vida salvaje no tiene fronteras. Y en 1998 la OMC falló en contra de EE UU, por los mismos motivos, ante la prohibición de este país a la importación de gambas pescadas con redes que causan gran mortandad de tortugas.

El Acuerdo sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias : Los países han venido restringiendo el comercio por motivos sanitarios y de protección ambiental, tratando de evitar los peligros provenientes de plagas, enfermedades y organismos asociados con enfermedades contenidas en las mercancías importadas; de productos químicos, fertilizantes, plaguicidas y herbicidas, medicamentos peligrosos, etc.

En la Ronda de Uruguay se aprobó el Acuerdo sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias. Un elemento clave de este acuerdo es que las restricciones se deben basar en el Código Alimentario de la FAO. Los estándares establecidos han sido rebajados mediante una campaña de cuatro años por parte de EE UU. En función del código modificado, la OMC dictó sentencia en 1997 contra la prohibición comunitaria a la importación de carne hormonada, por considerarla un riesgo para la salud, aunque le dio un plazo a la UE para probar el efecto sobre la salud. En 1998 ésta puso en marcha diecisiete investigaciones sobre los efectos de las seis hormonas empleadas. En 1999 la OMC autorizó que EE UU sancionara a la UE porque ésta no había acabado la investigación. En 2000 los resultados de la investigación mostraron que la medida era correcta, porque una de las hormonas resultó "totalmente" cancerígena y las otras mostraron riesgos evidentes sobre todo para las adolescentes. La OMC no ha hecho caso del informe, lo que demuestra que no acepta la revisión de los procesos en caso de existir nueva información. También dictaminó en 2000 en contra de una norma de Australia, que data de la década de los sesenta, por la cual se somete al salmón crudo importado a una cuarentena para proteger al salmón autóctono de enfermedades importadas. Se basa, entre otros argumentos, en que el salmón canadiense contiene unas veinte bacterias inexistentes en Australia. Por la misma razón Japón somete a los alimentos importados a un sistema de cuarentena. Resulta revelador que ningún país que ha sido denunciado en virtud de este acuerdo haya obtenido un veredicto favorable (*Public Citizen*, 2003).

El Principio de Precaución: El principio de precaución establece la necesidad de actuar ante la presunción de un riesgo importante aunque no existe evidencia científica y es uno de los principios de política ambiental de la UE. La exigencia de que la *justificación provisional* se base en la evidencia científica es imposible de realizar (por carecer de datos suficientes) al principio de la aplicación de un producto o tecnología. Además, la comunidad científica conoce de forma muy precaria el funcionamiento de la biosfera y, en consecuencia, las repercusiones sobre ella de nuestras actuaciones. La OMC no acepta el principio porque le crea un marco de actuación incierto.

En resumen, la inexistencia de un organismo internacional de regulación de las actividades económicas por motivos ambientales ha permitido que la OMC sea el único organismo con capacidad para tomar decisiones en este campo. Capacidad que han utilizado para crear una jurisprudencia muy negativa para la protección del planeta. No podía ser de otra forma, porque la misión de estos organismos es liberalizar el comercio.

4. LA CONTRADICCIÓN ENTRE LA OMC Y LOS ACUERDOS MULTILATERALES MEDIOAMBIENTALES

4.1. LOS ACUERDOS MULTILATERALES MEDIOAMBIENTALES

Los AMMA constituyen el desafío de más entidad al sistema de libre comercio. Son tratados internacionales, firmados por más de dos países, que pretenden resolver problemas ambientales y de recursos (biodiversidad, pesca internacional, conservación de los servicios naturales, erradicación de la contaminación, etc.) mundiales y regionales, generales y específicos. Por otro lado, se han firmado más de 1.000 acuerdos bilaterales, aunque el PNUMA reconoce que no se conoce el número exacto. Únicamente entre veinte y treinta, según diversas estimaciones, establecen explícitas medidas limitadoras del comercio (cuotas, prohibiciones de importar y exportar, derechos de productores no reconocidos por la OMC, etc.), pero son los más importantes. El PNUMA considera que los más relevantes son: la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES, 1975), el Protocolo de Montreal relativo a sustancias que agotan la capa de ozono (1987), el Convenio de Basilea sobre el control de movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y su eliminación (1992), el Convenio sobre Biodiversidad (1993), el Convenio sobre el Cambio Climático o Protocolo de Kioto (1997), el Convenio de Rótterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo relativo al comercio internacional de sustancias químicas y plaguicidas peligrosos (1998) y el Protocolo de Cartagena sobre Biodiversidad (2000). Todos ellos contienen medidas específicas de control del comercio, a excepción del Protocolo de Kioto, aunque éste es el que contiene más potencial regulador. Estos acuerdos establecen un amplio campo de control del comercio, por parte de los países signatarios para:

- Endurecer individualmente las normas acordadas.
- Establecer sistemas de licencias y permisos que regulen el comercio de ciertas mercancías e, incluso, el tránsito por su territorio.
- Establecer regímenes sancionadores.
- Establecer comportamientos discriminatorios entre países signatarios y no signatarios: estableciendo restricciones al comercio con países no signatarios; aplicando medidas comerciales contra tales países.
- Establecer un comercio contingentado.
- Discriminar entre productos semejantes en base a los PMP.

- Aplicar el principio precautorio.
- Propiciar la transparencia informativa y la participación.

El Consejo Económico y Social de la UE reconoce que el acuerdo marco de la Cumbre de Río sobre el Cambio Climático, el Protocolo de Montreal y otros acuerdos internacionales abren "una brecha en dos principios fundamentales del GATT: el principio de nación más favorecida y el principio de reciprocidad" (CESE, 1996: 7-8). Además, son muy dinámicos, ya que tratan de adaptarse en función de la nueva información (grado de cumplimiento, nueva información científica, etc.) y promueven la colaboración de ONG, que en algunos casos, como el de la inspección, es decisiva. El Convenio sobre los Compuestos Orgánicos Persistentes (COP) ha establecido la prohibición y control de doce sustancias muy peligrosas. La Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico permite a los países miembros prohibir las importaciones de terceros de atún y pez espada de países que incumplen sus reglas. Se trabaja en acuerdos sobre pesca sostenible, explotación forestal sostenible, etc. (French y Mastny, 2001; PNUMA e IIDS, 2001).

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS

El Convenio de Basilea consiguió disminuir de forma notable los residuos que se exportaban de la OCDE a países No-OCDE, pero en los últimos años se ha producido un crecimiento espectacular de la exportación de residuos electrónicos a Asia destinados al reciclado, amparándose en que el convenio permite ese comercio. El 80% de la chatarra electrónica de EE UU se envía a Asia para reciclaje (Mastny, 2003: 27). Pero se generan importantes daños ambientales, porque son residuos peligrosos (PNUMA, 2009).

La mayoría de los países han cumplido el Protocolo de Montreal, lo que ha producido una reducción del 85% de las emisiones de CFC en el periodo 1986-1997. El grado mayor de incumplimiento se localiza en Rusia, porque los produce. Se han habilitado fondos para ayudar en el cumplimiento. Por otro lado, China se ha convertido en el principal productor de halones. El resultado es que, mientras que las concentraciones de cloro en la estratosfera disminuyen, las de bromo (procedentes de los halones) aumentan (French y Mastny, 2001).

La CITES ha conseguido reducir el comercio de muchas especies amenazadas (como el guepardo, el chimpancé, el cocodrilo y el elefante), pero continúa el comercio ilegal de otras muchas. Con el fin de atajarlo se están creando convenios sobre determinadas especies como las marinas. En 1995 se aprobó el Acuerdo sobre Peces Transzonales y las Poblaciones de Peces Altamente Migratorios.

Viene funcionando la Comisión Internacional para la Conservación del Atún Atlántico (French y Mastny, 2001).

Los acuerdos alcanzados en la Comisión Ballenera Internacional han conseguido reducir las capturas anuales de ballenas desde 66.000 en 1961 hasta 1.100. Se han reducido en un 60% los vertidos de petróleo al mar desde 1981 mediante las regulaciones de la Organización Marítima Internacional (OMI), pese a que se ha duplicado la carga transportada. En 1991 se aprobó una moratoria de cincuenta años a las actividades comerciales en la Antártica (French, 2000).

Estos resultados son limitados, aunque importantes, son consecuencia de la dinámica liberalizadora y de la debilidad de la estructura y de los medios del sistema de los AMMA. Y la debilidad proviene del hecho de que cada tratado crea su propia maquinaria institucional, pequeños despachos denominados secretariados y un pequeño equipo (unas treinta personas como media). Su función es la supervisión de la aplicación del convenio, lo que supone la recogida y análisis de datos, el asesoramiento a los gobiernos, en algunos casos la realización de la inspección *in situ*, etc. Esta fragmentación de actuaciones debilita los AMMA y es fuente de contradicciones entre ellos.

El Protocolo de Montreal ha generado una dinámica de eliminación de los gases que destruyen la capa de ozono, pero no se ha preocupado de la posibilidad de que los sustitutos agravaran otros problemas. Esto ha dado lugar, por ejemplo, al desarrollo de los hidrofluorcarbonos (HFC), que son potentes gases de efecto invernadero. El Protocolo de Kioto alienta la plantación de árboles de crecimiento rápido, sin tener en cuenta sus efectos sobre la biodiversidad. Por el contrario, no incluye ninguna compensación al mantenimiento de los bosques (UNU/GEIC/IAS, 1998).

Como consecuencia de las debilidades de los AMMA, los acuerdos alcanzados suelen ser insuficientes para resolver los problemas. La mayor parte de ellos contienen pocas metas específicas y calendarios, y los mecanismos de vigilancia de la aplicación son débiles cuando no inexistentes (French, 2002). Sin embargo, en los últimos años están proliferando ONG internacionales y redes de ONG planetarias que están desempeñando un importante papel. La Red de Acción del Clima aglutina a más de 250 organizaciones internacionales y nacionales de defensa de un clima estable. La Red de Acción contra los Plaguicidas incluye al menos 500 organizaciones de consumidores, ambientalistas, sanitarias, sindicales y de agricultores. El Foro Mundial de Pescadores y Trabajadores del Sector aglutina a organizaciones de pequeños pescadores de seis continentes. Existe una Red Internacional para la eliminación de los compuestos orgánicos persistentes (COP). La red TRAFFIC vigila el cumplimiento de la CITES y recomienda a gobiernos las listas de especies a proteger (French y Mastny, 2001).

El fortalecimiento de las ONG está dando lugar a que, cada vez con más frecuencia, sean invitadas a participar en los trabajos de organismos e instituciones internacionales. Un paso muy importante en esta dirección fue la invitación a participar en la Comisión de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas realizada en 1993. La oposición de los miembros más conservadores retrasó tres años la aplicación y en 1996 fueron acreditadas 123 ONG. A partir de entonces ha ido creciendo el número de organizaciones que participan en sus foros anuales, hasta alcanzar más de 700 en 2000. En Johannesburgo se acreditaron más de 8.000 participantes no gubernamentales (1.500 en la Cumbre de Río), los cuales realizaron multitud de actividades paralelas, aparte de participar en los foros oficiales (French, 2002).

5. PROPUESTAS GUBERNAMENTALES DE CAMBIO DE LA OMC PARA PROTEGER LA NATURALEZA

5.1. RECONOCIMIENTO DE PRINCIPIOS

Se proponen numerosos principios que son contradictorios con el sistema de libre comercio. La Declaración de Río establece, entre otros, los de Autogobierno, Precaución, Responsabilidad común pero diferenciada y Apertura.

- Autogobierno. El principio 2 establece que "los Estados tienen el derecho soberano de aprovechar sus propios recursos según sus propias políticas ambientales".
- Precaución. El principio 15 lo asume: "Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente". El párrafo 6 de la Declaración del Milenio lo expresa de una forma menos explícita: "La prudencia debe ser contemplada en la gestión de todas las especies vivientes y de los recursos naturales (Naciones Unidas, 2000). La propuesta de la UE de que se haga una evaluación *ex ante* de los acuerdos liberalizadores, como requisito previo a su aprobación definitiva, supone el reconocimiento implícito del principio precautorio.
- Responsabilidad común pero diferenciada. Aunque todos somos responsables del proceso de degradación planetaria, hay que reconocer

que la escala de responsabilidad es muy dispar, lo que supone responsabilidades diferenciadas (principio 7).
- Apertura. Supone transparencia y participación de la ciudadanía en el establecimiento de políticas (principio 10).

Por último, y como sintetizador de los principios indicados, es necesario establecer el principio de primacía de la conservación de la naturaleza sobre la liberalización comercial. Hasta ahora lo que abundan son declaraciones sobre la necesidad de conservar la naturaleza, pero en contextos en los que también se defiende la liberalización. Por ello resulta un importante avance el capítulo I de la Declaración del Milenio, dedicado a los "valores y principios", al considerar que entre los "principios fundamentales" (libertad, igualdad, solidaridad, tolerancia y responsabilidad común) se encuentra el "respeto a la naturaleza" (Naciones Unidas, 2000).

5.2. MARCO REGULADOR

La UE está desempeñando un papel protagonista en la reforma del sistema OMC por motivos ambientales, aunque también se ha convertido en la principal impulsora del libre comercio. Esta aparente contradicción se resuelve a favor de la segunda postura, porque sus propuestas de regulación han sido rechazadas, lo cual no ha modificado su papel de protagonista en el proceso liberalizador. En la citada comunicación, que contenía su posición en la Primera Conferencia Ministerial de la OMC (Singapur 1996), propone la revisión del artículo XX del GATT para que contemple, con carácter excepcional, la licitud de las limitaciones al comercio ocasionadas por los AMMA, tanto en base a productos como a los PMP (Parlamento Europeo, 1996). En 1999, y con ocasión del comienzo de las negociaciones sobre la Ronda del Milenio, la UE solicitó incluir en el sistema OMC a los AMMA y al principio de precaución: "Deberá buscarse el consenso sobre la incorporación a las normas comerciales de la OMC de las medidas comerciales tomadas en aplicación de los AMMA y de los tipos de acuerdos multilaterales que constituyen los AMMA", "confirmar, dentro de las normas OMC pertinentes, la importancia del principio precautorio, y a convertir los criterios multilaterales del ámbito de acción posible según dicho principio" (Comisión Europea, 1999: 15).

El documento que presentó la UE en la Cumbre de Johannesburgo da un paso más al abandonar, al menos implícitamente, la teoría idílica de la retroalimentación positiva de los dos sistemas, para plantear un reequilibrio de poder: "Con el fin de garantizar una globalización sostenible, es preciso alcanzar un

equilibrio más adecuado entre los mecanismos del mercado mundiales, por una parte, y las instituciones responsables de las cuestiones políticas y la gobernanza mundial, por otra". Propuesta que es reforzada y explicada en el apartado "Controlar la globalización: el comercio al servicio del desarrollo sostenible" (Comisión Europea, 2002*a*).

En el ámbito de acuerdos, hasta ahora se contemplan dos: la evaluación de los efectos ambientales de la liberalización comercial y el establecimiento de negociaciones entre la OMC y el sistema de AMMA. Pero ninguno de los dos ha dado lugar a resultados prácticos. Canadá, la UE y EE UU anunciaron un acuerdo para realizar una evaluación de impacto ambiental en futuras negociaciones, pero estos países difieren ampliamente en el alcance de las mismas: objetivos, métodos y campo de aplicación (Santarius *et al*, 2004).

Como resultado de estas propuestas comunitarias, de la multiplicación y desarrollo de los AMMA, la OMC ha venido mostrando una creciente preocupación por que sus regulaciones alteren el sistema de libre comercio (UNU/GEIC/IAS, 1999), pero al final no le ha quedado otro remedio que aceptar negociar el tema ambiental. En la Declaración Ministerial de Doha (2001) se acordó abrir un proceso de negociación con el sistema de los AMMA. Pero se hace en un contexto teórico totalmente caótico. La Declaración empieza exponiendo dos teorías clásicas: la retroalimentación positiva entre el libre comercio y la sostenibilidad y la afirmación de que los Estados tienen derecho y capacidad para proteger el medio ambiente, pero con condiciones. En el primer caso se afirma que "estamos convencidos de que los objetivos de mantener y salvaguardar un sistema de comercio multilateral abierto y no discriminatorio, y la actuación de la protección del medio ambiente y la promoción del desarrollo sostenible, pueden y deben ser mutuamente reforzantes". La segunda teoría se expresa así: "Reconocemos que bajo las normas de la OMC ningún país tiene que verse obstaculizado en la toma de medidas para proteger la salud y la vida humana, animal o de las plantas [...] siempre que no constituyan un medio una discriminación arbitraria e injustificable [...] o una restricción encubierta del comercio internacional" (Santarius *et al*, 2004).

El Plan de Aplicación de Johannesburgo (Naciones Unidas, 2002) respalda lo aprobado en Doha y avanza un paso más al hacer un reconocimiento expreso del sistema de los AMMA, aunque a costa de profundizar aún más en el caos teórico. En el párrafo 98 propone: "Promover el mutuo apoyo entre el sistema de comercio multilateral y los acuerdos ambientales multilaterales, en consonancia con los objetivos del desarrollo sostenible y en apoyo del programa de trabajo acordado en la OMC, al mismo tiempo que se reconoce la importancia de mantener la integridad de ambos conjuntos de instrumentos".

No conozco que se haya producido ningún avance en las citadas negociaciones. Y es que, como reconoce Helga Hoffmann, directora de Medio Ambiente y Desarrollo de la CEPAL, "los regímenes ambientales son mucho más complicados que el régimen comercial internacional" (1997). El PNUMA respalda esta idea y anuncia la agudización de los conflictos entre ambos, al declarar que el conjunto de los AMMA "constituye un corpus de Derecho ambiental de gran envergadura y complejidad" y "a medida que avanza la globalización de la economía y que la naturaleza global de muchos de los problemas ambientales se hace más evidente, la fricción entre los sistemas jurídicos multilaterales que rigen ambos aspectos se hace inevitable" (PNUMA e IIDS, 2001).

5.3. FINANCIACIÓN

La dotación de fondos suficientes y estables al sistema de Naciones Unidas es uno de los temas más debatidos en las últimas décadas. La razón es la actual precariedad y aleatoriedad de los ingresos de su financiación, lo cual la hace completamente vulnerable al chantaje de los principales Estados donantes. Y especialmente de EE UU. Las secretarías encargadas de la aplicación de los tratados ambientales suelen tener un presupuesto anual que oscila entre el millón y los 30 millones de dólares (M$). Estos presupuestos contrastan, por ejemplo, con la EPA, que tuvo en 2000 un presupuesto de 7.800 M$, y mucho más con el presupuesto militar, que superó los 300.000 millones, mientras que los gastos militares totales alcanzaron los 750.000 millones (French, 2002).

Ya en 1980 el Informe Brandt constataba la existencia de múltiples propuestas: "Han sido realizadas varias propuestas para obtener ingresos internacionales. Entre ellas se encuentra una tasa sobre el comercio internacional, sobre la inversión internacional, sobre hidrocarburos y recursos agotables, sobre el consumo de energía, sobre el comercio internacional del petróleo, sobre el transporte aéreo y marítimo internacional, sobre el uso de 'espacios comunes' (pesca y extracción de gas y petróleo del océano, minería en el lecho marino, uso de órbitas espaciales y de frecuencias de radio y telecomunicaciones)" (Comisión Brandt, 1981: 277). El Informe Brundtland propone fuentes de financiación semejantes y concluye que algunas de sus propuestas ya se pueden poner en marcha, por lo que deben ser discutidas por la Asamblea General y, en especial, "las propuestas relativas a los ingresos procedentes del uso de los espacios comunes internacionales y de los recursos naturales actualmente se justifican y deberían ser objeto de serio examen por parte de los gobiernos y de la Asamblea General" (CMMAD, 1988: 402-403). Sin embargo, estas propuestas no fueron discutidas por la Asamblea General ni en

las siguientes cumbres mundiales; se limitan a recalcar la necesidad de fortalecer el sistema de Naciones Unidas y a asegurar una financiación adecuada es un medio imprescindible de su fortalecimiento (French, 2002).

5.4. INSTITUCIONES

REFORMA DE LA OMC: Las reformas de la OMC se refieren a la institucionalización de la evaluación de los impactos ambientales y sociales de las medidas liberalizadoras. En este momento existen dos "cuerpos": el Cuerpo de Revisión de la Política Comercial (CRPC) y el Cuerpo de Resolución de Disputas (CRD). El primero se encarga de evaluar los impactos económicos en cada país de las medidas liberalizadoras. El segundo se encarga de emitir veredictos sobre disputas comerciales entre países. Las propuestas van en dos direcciones: que el primer Cuerpo se encargue también de evaluar las repercusiones sociales y ambientales y que se cree el Cuerpo de Evaluación Estratégica de Impactos (CEEI). Éste se encargaría de realizar evaluaciones generales sobre las consecuencias sociales y ambientales de las propuestas de acuerdos antes de que se concluyan. Estas evaluaciones estarían sustentadas por las evaluaciones de los acuerdos previos que realizara el CRPC renovado. El CEEI realizaría informes por propia iniciativa o a petición de países y formaría parte del Consejo General, al igual que los otros dos Cuerpos. Hasta ahora, los países menos industrializados se han opuesto a la adopción de estas medidas (French y Mastny, 2001; Santarius, 2004).

INSTITUCIÓN DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: Se proponen diversos tipos de instituciones, que concitan niveles de adhesión muy dispares. Se propugna la creación de un Tribunal Internacional del Medio Ambiente, al estilo de la Corte Penal Internacional. Existe el precedente del Tribunal Internacional del Derecho del Mar, pero hay pocos gobiernos dispuestos a someterse a los dictados de semejante institución (French y Mastny, 2001). Por otro lado, crece el apoyo a la conversión del PNUMA en una Organización Mundial para el Medio Ambiente (OMMA) que aglutine a los múltiples y crecientes organismos ambientales que existen. Esta propuesta ha tenido el respaldo hasta del director general de la OMC, Renato Ruggiero; en un simposio organizado por la OMC en 1999, defendió la necesidad de crear tal organización como "contrapartida legal e institucional" de la OMC (French, 2002). El Consejo de Medio Ambiente de la UE defiende la elevación del estatus del PNUMA hasta convertirlo en una agencia especializada con un amplio mandato sobre temas ambientales. Pero la OMC seguiría siendo un organismo fuera del sistema de la ONU y controlado por EE UU y las potencias principales, mientras que el nuevo PNUMA seguiría dentro del sistema.

6. LA REGRESIÓN DE LA GLOBALIZACIÓN

La globalización económica ha multiplicado los problemas sociales y la insostenibilidad del SSE mundial. Estos problemas, y sobre todo otros factores, comienzan a producir una regresión de la globalización. Asistimos al paso de la hegemonía de EE UU a un mundo multipolar, que ha sido un factor clave para que siga estancada la Ronda liberalizadora iniciada en Doha en 2001 (y que ya se retrasó dos años ante la imposibilidad de iniciarla en Seattle en 1999 debido a la contestación social), hechos que no tienen precedentes: "La posición dominante de EE UU y de la UE, que les ha permitido en la práctica dictar las normas comerciales, está debilitándose y no se recuperará nunca" (Halle, 2009). Cada vez hay menos países que apuestan por un modelo globalizado y, por el contrario, proliferan los acuerdos regionales de cooperación económica. La Comisión Europea (2003: 16) ya constató esta tendencia en 2003: "Parece que, tras Cancún, cada vez más miembros de la OMC prefiera la celebración de acuerdos de libre comercio y acuerdos comerciales regionales al proceso de liberalización multilateral". Las potencias incumplen sistemáticamente las normas de la OMC. La Comisión Europea (COM(2010)334 final) detectó en 2008 y 2009 numerosas medidas restrictivas del comercio y una tendencia a aumentar mucho en el G20, especialmente por parte de EE UU, Rusia, la India, China, Brasil, etc. Destacan entre ellas la limitación por parte de muchos países de sus exportaciones de minerales y metales estratégicos, cuyas reservas monopolizan. La UE, EE UU y México denunciaron a China ante la OMC en 2009. Pero en 2010 China ha reducido las exportaciones de tierras raras (Ad-hoc Working Group, 2010: 20). El proceso de agotamiento de los combustibles fósiles es un factor decisivo en la reversión de la globalización. La escalada de 2002-2008 magnificó la crisis económica de 2008-2010 y produjo la reducción física del comercio internacional, antes de que se produjera la crisis económica, por la fuerte elevación de los costes de transporte. La escasez creciente de petróleo y gas natural va a llevar a que las potencias importadoras busquen acuerdos de suministro a largo plazo, marginando el mercado.

CAPÍTULO 5

EL CONCEPTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE BRUNDTLAND Y SUS MANIPULACIONES

Cuando en la década de los sesenta se empieza a tomar conciencia de los problemas ecológicos, éstos se ven como realidades puntuales y no conexas, que tienen causas perfectamente identificables (normalmente de origen industrial). Pero en la década de los ochenta comienzan a ser evidentes una serie de problemas planetarios ambientales y de recursos, como son la contaminación de los océanos, la destrucción de la capa de ozono, de los bosques, la escasez de agua potable, etc., y la sospecha, crecientemente fundada, de que estábamos creando otros como el cambio climático o la contaminación química planetaria. A partir de aquí el factor ambiental ya no puede ser considerado más que como un problema estructural del sistema económico que se muestra incompatible con el equilibrio ecológico, por lo que hay que transformarlo. El Informe de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, más conocido como Informe Brundtland, constituye un hito porque supone la primera asunción institucional del concepto de desarrollo sostenible y por el órgano que lo avala, Naciones Unidas.

Existe una amplia diversidad de interpretaciones del concepto de desarrollo sostenible, pero en este capítulo analizaremos exclusivamente las dos versiones dominantes en los centros de poder político, económico y académico: la que definimos como la teoría de las tres sostenibilidades y la teoría de la desmaterialización.

1. EL DESARROLLO SOSTENIBLE SEGÚN BRUNDTLAND

El concepto de desarrollo sostenible es una de las cuestiones económicas que más literatura y mayor debate ha generado. Éste viene condicionado por el paradigma de la economía ortodoxa, que equipara crecimiento económico con aumento del bienestar y pleno empleo, lo cual determina la necesidad y la bondad de un crecimiento sostenido. De esta manera, resulta prioritario para el sistema defender la compatibilidad (e incluso la necesidad) del crecimiento ilimitado con el equilibrio ecológico.

A partir de la década de los sesenta, cuando los problemas ambientales comienzan a manifestarse con claridad, un considerable número de autores empiezan a desarrollar conceptos que integran la variable ecológica en la economía, entre los que pueden mencionarse los siguientes: ecodesarrollo (Sach, 1981), crecimiento intensivo (Rizhkow, 1986), crecimiento orgánico (Mesarovic y Pestel, 1972), varias versiones de desarrollo sostenible, etc. A mediados de los años ochenta se extendió en el bloque del Este europeo la preocupación por los impactos ambientales y la escasez de recursos; frente a la tendencia del pasado de crecer aumentando el consumo de recursos (desarrollo extensivo), se insistió en el objetivo de crecer sin aumentarlo (desarrollo intensivo).

El Club de Roma, ante las críticas recibidas por el primer informe —conocido como Informe Meadows— porque propugnaba el crecimiento cero para los países desarrollados, emitió un segundo informe (realizado por Mesarovic y Pestel) más moderado, en el que se defiende un crecimiento orgánico. Éste debe entenderse como aquel que tiene un límite, que es lo que le ocurre a todo organismo vivo. Por último, durante mucho tiempo se vino utilizando el término "desarrollo sostenible" para definir realidades muy diversas. Pearce y Markandya (1989: 43-44) le han encontrado diversos significados, algunos de los cuales no tienen nada que ver con la sostenibilidad. Esta preocupación por un desarrollo sostenible se mantuvo limitada casi exclusivamente al mundo académico hasta la publicación del Informe Brundtland, que define una interpretación del concepto que se populariza y se convierte en el referente, aunque detrás de esta adhesión unánime aparecen versiones altamente contradictorias entre sí y con el informe.

La Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo de Naciones Unidas (CMMAD, 1988) presentó en 1987 el informe titulado "Nuestro futuro común". En las dos primeras líneas del capítulo 2 define el concepto: "El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para

satisfacer sus propias necesidades". Esta interpretación es tridimensional: aglutina la dimensión económica y la social en el concepto de desarrollo, ya que se entiende como crecimiento con reparto de la riqueza, y la tercera dimensión es la ambiental.

Posiblemente, este concepto fue ampliamente aceptado por ser muy genérico, aunque tiene el mérito de definir elementos tan importantes como la satisfacción de las necesidades esenciales de toda la población y la protección del medio ambiente. Sin embargo, una definición tan escueta no puede ser más que genérica y, por tanto, susceptible de múltiples interpretaciones, aunque las más importantes (por el respaldo institucional) sean totalmente ilegítimas. Además, tales interpretaciones no tienen en cuenta la visión que se refleja a lo largo de todo el informe, y especialmente en el capítulo 2, el cual se dedica a explicar el concepto. A pesar de ello, se han propuesto unas 300 definiciones *explicativas*, pero que en realidad "son el producto de visiones contrapuestas, ideologías diversas, deferentes disciplinas, sistemas de valores e intereses" (AEMA, 1998: 21). Lo cual lleva a Bruyn y Opschoor (1997) a definirlo como una "metafísica" que "unirá a todo el mundo, desde el empresario que busca el beneficio y el agricultor que persigue una existencia que minimiza el riesgo, hasta el trabajador social que busca equidad, el habitante del primer mundo preocupado por la contaminación y amante de la naturaleza, el gestor público maximizador del crecimiento, el tecnócrata y el político contador de votos". Así que ha sido definido como un *concepto chicle*.

En un intento de eliminar las ambigüedades de una definición tan genérica, el Informe Brundtland se ve en la necesidad de explicarla con un texto que define los dos conceptos que la sustentan:

> *"Encierra [el desarrollo sostenible] en sí dos conceptos fundamentales:*
> - *el concepto de necesidades, en particular las necesidades esenciales de los pobres;*
> - *la idea de limitaciones impuestas por el estado de la tecnología y la organización social en la capacidad del medio ambiente para satisfacer las necesidades presentes y futuras"* (CMMAD, 1988: 67).

El primer concepto explica que, cuando se refiere a la satisfacción de las necesidades, quiere decir las esenciales, y como no están satisfechas para la mayoría de la población, resulta necesario crecer: "La satisfacción de las necesidades esenciales depende en parte de la realización del potencial de crecimiento". Pero el crecimiento no basta, es solo una "parte" de la solución, la económica. Las otras dos se refieren al "estado de la tecnología" (el insuficiente desarrollo tecnológico) y a la dimensión social (la necesidad de superar las lacras de "la organización

social" que determina un reparto de rentas enormemente desigual). Ambas limitaciones deben ser superadas con el fin de mantener "la capacidad del medio ambiente para satisfacer las necesidades presentes y futuras".

A pesar de estas explicaciones, la limitación tecnológica sigue siendo imprecisa. Se entiende que una organización social deficiente (como la que impera en la mayor parte del mundo, y especialmente en los países poco industrializados) determina un reparto muy desigual de las rentas. Pero, por otra parte, se puede interpretar que, una vez superada la limitación del "desarrollo tecnológico", no habrá límites en la disponibilidad de recursos. Por ello, el Informe Brundtland precisa más adelante su alcance, al afirmar que el desarrollo tecnológico no puede superar la escasez de recursos, porque son limitados. Éste es el caso "de la energía, de los materiales, del agua o de tierras". Estos límites "se manifestarán como costes crecientes y rendimientos decrecientes, y no como una pérdida repentina de una base de recursos" (CMMAD, 1988: 69).

Además, el Informe Brundtland contiene otras precisiones conceptuales o requisitos. La sostenibilidad solo se refiere a la dimensión ecológica. Esta premisa aparece repetidamente y forma parte de las conclusiones del capítulo 2: "Un desarrollo sostenible requiere [...] un sistema de producción que cumpla el imperativo de preservar el medio ambiente". El informe utiliza habitualmente el término "desarrollo y protección de medio ambiente" y tiene muy claro lo que significa desarrollo: "La satisfacción de las necesidades y aspiraciones humanas es el objetivo principal de desarrollo" (CMMAD, 1988: 68). Así lo entiende también la Cumbre de Río, que afirma en el principio 4 de su Declaración que "a fin de alcanzar el desarrollo sostenible, la protección del medio ambiente deberá constituir parte integrante del proceso de desarrollo".

Todo ello es coherente con la génesis del concepto de desarrollo sostenible. Después de la Segunda Guerra Mundial se puso el énfasis en la necesidad de crecer para erradicar la pobreza, pero cuando se constata que el fuerte crecimiento que estaba teniendo lugar no la estaba erradicando, se afirma que el crecimiento debe tener una componente social. Se acuña el término de desarrollo que viene a significar crecimiento con reparto de riqueza. Y cuando más adelante se constata que el crecimiento está destruyendo los recursos y servicios naturales, se ve la necesidad de parar este proceso. Ahora el desarrollo debe ser sostenible. El requisito de la sostenibilidad es una condición ineludible del desarrollo y obliga, por tanto, a cambiar el modelo imperante. Esto es lo que se refleja, también, en el dramático *Llamamiento a la acción*: "Las tentativas de mantener la estabilidad social y ecológica mediante los viejos enfoques del desarrollo y la protección del medio ambiente aumentarán la inestabilidad.

Deberá buscarse la seguridad mediante el cambio [...] Somos unánimes en la convicción de que la seguridad, el bienestar y la misma supervivencia del planeta dependen de esos cambios ya" (CMMAD, 1988: 44, 45). Si la supervivencia del planeta está en peligro, la eliminación de este riesgo constituye una tarea prioritaria e ineludible. Así que la dimensión ambiental es la determinante. Por último, para transformar el modelo de desarrollo hay que realizar una planificación estratégica de las transformaciones necesarias. Dicho con palabras del informe, es necesario "un marco estratégico amplio para lograrlo" (CMMAD, 1988: 67).

2. INTERPRETACIONES ORTODOXAS DEL CONCEPTO DE DESARROLLO SOSTENIBLE SEGÚN EL INFORME BRUNDTLAND

2.1. EL DESARROLLO SOSTENIBLE SEGÚN LA TEORÍA DE LA TRIPLE SOSTENIBILIDAD

La UE (y otras organizaciones internacionales) defiende que la sostenibilidad no se refiere solo a la dimensión ambiental, sino también a las otras dos, por lo que las tres representan también tres sostenibilidades: la económica, la social y la ambiental. La interpretación del desarrollo sostenible como un concepto integral que abarca tres sostenibilidades ya aparece en textos del BM a principios de la década de los noventa. El Consejo de Laeken (diciembre de 2001) anuncia "la iniciativa de la Comisión de desarrollar un conjunto de indicadores para medir de una forma integrada las sostenibilidades ecológica, económica y social" (COM(2001)31 final). La Comisión (2006: 8) declara que "deben ser tenidos en cuenta los tres pilares de la sostenibilidad (el económico, el social y el ambiental)". La UE declara, además, que las tres dimensiones o sostenibilidades tienen el mismo peso o rango. Esta interpretación del concepto supone múltiples rupturas con la que define el Informe Brundtland:

- Se pasa de una interpretación que delimita los campos del desarrollo (dimensiones económica y social) y de la sostenibilidad (dimensión ecológica) a otra en la que ésta se convierte en un concepto genérico aplicable a las tres dimensiones.
- La introducción de la sostenibilidad económica permite asociar a ella todo lo que el sistema dominante está persiguiendo: liberalización, globalización, competencia, crecimiento ilimitado, etc. La propuesta de VI Programa Ambiental de la Comisión afirma que el desarrollo sostenible

"es la alianza entre el progreso económico y un ambiente sano, la globalización y la ampliación de la UE" (COM(2001)68 final). Y son precisamente esas características del sistema las que lo hacen insostenible. No se tiene en cuenta el mandato del Informe Brundtland "de romper con las pautas del pasado" (CMMAD, 1988: 44).

- Se pasa de una posición determinante de la dimensión ecológica (de la sostenibilidad) a otra subordinada, cuando no es eliminada: aunque se dice que las tres dimensiones tienen el mismo peso, la dimensión ambiental siempre se cita en último lugar y se suele reflejar de una forma muy limitada. El Consejo ECOFIN (2002) declara en relación con las "Líneas Maestras de Política Económica" que "estando en el centro de la coordinación de la política económica, están bien colocadas para desarrollar una estructura general, transparente y creíble para mejorar la integración de los asuntos ambientales y de desarrollo sostenible con la política económica" (Spangenberg, 2004: 6). Incluso el Foro Económico Mundial admite que "el medio ambiente queda a menudo relegado en los análisis tridimensionales" (2001: 8).
- No existe en el Informe Brundtland la premisa del crecimiento indefinido, y menos aún para los países ricos. En su definición del concepto, y en todo el informe, se insiste en el objetivo de la satisfacción de las necesidades esenciales y el crecimiento queda justificado como medio de alcanzarla. El crecimiento en los países ricos solo se admite como una posibilidad a tener en cuenta si respeta el medio ambiente. Ahora el crecimiento ilimitado se convierte en la primera y más importante premisa del desarrollo sostenible.

La interpretación de las tres sostenibilidades permite negar que la economía esté condicionada por la ecología, al quedar relegada a una dimensión separada de la económica —el medio ambiente—, y así mantener el estatus tradicional de la economía como ciencia autónoma ajena a las demás ciencias. Permite, también, integrar en el concepto los elementos centrales de la interpretación más ortodoxa del sistema capitalista y así asociarlo a este sistema. Supone que no se puede dar una atención especial a la llamada sostenibilidad ambiental. Es decir que, cuando por primera vez se pretende la integración de la dimensión ambiental en el sistema, ésta debe contemplarse al mismo tiempo que los múltiples aspectos socioeconómicos que han constituido la preocupación dominante de las sociedades. La propuesta de Estrategia de Desarrollo Sostenible (EDS) de la Comisión Europea incluye, entre las seis amenazas principales, las dos siguientes: pobreza y exclusión social, y envejecimiento de

la población. Tal como queda reflejado en el borrador previo a su aprobación por parte de la Comisión Europea, esto supone que hay que definir políticas (además de las ambientales) para los siguientes temas: desarrollo de los mercados laborales, edad de jubilación, sistema de pensiones, esperanza de vida, tasas de natalidad, desigualdades de rentas, desigualdad de rentas entre hombres y mujeres, altos niveles de fracaso escolar, altos niveles de analfabetismo entre la población adulta, cambios en los modelos familiares y en las estructuras domésticas, flujos de inmigración, etc.

Cualquier intento de definir las sostenibilidades económica y social independientemente del entorno biofísico está condenado al fracaso. Por mucho que se trabaje en la definición de conjuntos sofisticados de requisitos de sostenibilidad socioeconómica, aunque llegáramos a unas sociedades desarrolladas y con una alta integración social, éstas colapsarían por el deterioro del medio biofísico. Por otro lado, la interpretación de las tres sostenibilidades se ha introducido sin que se haya analizado lo que se entiende por sostenibilidad económica y social, ni sobre la necesidad de introducir estos conceptos. La UE simplemente reitera que la sostenibilidad económica se alcanza profundizando en el modelo actual.

La falta de una definición clara de lo que significa y sus repercusiones en todos los ámbitos da lugar a una enorme confusión terminológica y conceptual. Muchos textos de la UE dan a entender que solo existe una sostenibilidad, la ecológica. El artículo 6 del Tratado de la Unión (aprobado en el Tratado de Ámsterdam) declara que "todas las políticas deben integrar las preocupaciones ambientales con el objetivo de promover el desarrollo sostenible". La EDS de la UE declara: "Ahora es el momento para afrontar los retos de la sostenibilidad. Muchas de las tendencias que amenazan el desarrollo sostenible son el resultado de elecciones pasadas en tecnología de producción, modelos de uso del suelo e inversiones en infraestructuras" (COM(2001)31 final). Pero la misma UE introduce un nuevo motivo de confusión al utilizar el término "protección del medio ambiente y desarrollo sostenible" con frecuencia. Esto ocurre en el texto citado del Consejo de ECOFIN y, por ejemplo, en el título del V Programa y en los documentos de análisis y evaluación del mismo. El informe que la Comisión presenta al Consejo de Helsinki (1999) se titula "Informe del Consejo Europeo sobre la Integración de las Preocupaciones Ambientales y de Desarrollo Sostenible en las Políticas Comunitarias" (Comisión Europea, 1999). En pura lógica se debería inferir que el desarrollo sostenible solo se refiere a las dimensiones socioeconómicas, porque si se considera que también se refiere a la dimensión ambiental, como suele ocurrir, el título resulta redundante y, por ello, confuso.

La confusión terminológica está facilitando el uso fraudulento del concepto de desarrollo sostenible por parte de los gestores públicos, el empresariado, etc. Hoy en día las políticas tradicionales son defendidas para alcanzar el desarrollo sostenible. Un estudio sobre el desarrollo sostenible en Alemania realizado para la OCDE constata que el Ministerio de Finanzas lo utiliza para describir el objetivo de conseguir a largo plazo un déficit presupuestario cero, y que el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales lo emplea para definir la seguridad del sistema de pensiones, la disponibilidad de "capital social", etc. No es de extrañar, como reflejan las entrevistas que el equipo tuvo que hacer para redactar el informe, que "a veces incluso los gestores públicos que profesionalmente se ven confrontados con la sostenibilidad no tenían una idea clara de cómo plasmar este concepto en políticas concretas" (Janicke, Jorgensen y Nordbeck, 2001: 10). Otro ejemplo de confusión terminológica nos lo da la UE. La segunda de las "Directrices integradas 2005-2008 para el crecimiento y el empleo" aprobada en el Consejo de Bruselas (2005) es "salvaguardar la sostenibilidad económica y presupuestaria". Así que el uso fraudulento y abusivo del concepto de sostenibilidad, su aplicación a todas las situaciones sociales y económicas, conlleva que haya dejado de ser operativo y que el objetivo inicial de integrar la variable ambiental naufrague en un mar de *sostenibilidades*.

Esta interpretación es el resultado de la reacción defensiva de las áreas de poder cuando se ven obligadas a integrar la variable ambiental mediante la elaboración de estrategias de sostenibilidad sectorial. Entonces se maniobra para eliminar su carácter transformador. Este fenómeno se produce cuando el Consejo de Cardiff (1998) decide poner en práctica el artículo 6 del Tratado de la Unión, que exige integrar la variable ambiental, pidiendo que cada área de gobierno establezca estrategias sectoriales, lo cual extiende el temor a que la sostenibilidad obligue a introducir cambios estructurales, por lo que se pretende blindar las políticas convencionales con la teoría de las tres sostenibilidades. Esta reacción conservadora se traduce en que la integración ambiental apenas avanza, lo que es causa de una creciente insostenibilidad de la economía de la UE. Algunos Consejos sectoriales comunitarios se negaron a hacer algo más que un documento genérico y muy poco coherente con el mandato recibido, como lo muestra un informe de la Dirección General de Medio Ambiente de la primavera de 2001 (Wilkki, 2001). En la misma línea se posiciona el informe sobre la integración presentado por la Presidencia al Consejo de Gotemburgo, que declara que los ocho Consejos "responsables de las nueve estrategias sectoriales deberán renovar su mandato en Gotemburgo y será necesario poner nuevos límites temporales", proponiendo como fecha límite el Consejo de primavera de

2002 (COM(2001)68 final). Pero en este Consejo (el de Barcelona) tampoco se cumplió el mandato. Así que la UE sigue integrando la variable ambiental en las políticas tradicionales de forma periférica, superficial.

2.2. INTERPRETACIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE COMO DESMATERIALIZACIÓN DEL CRECIMIENTO

El debate sobre el crecimiento del producto económico

A lo largo de este manual hemos visto, y veremos más adelante, datos abrumadores sobre la creciente escasez de recursos indispensables. En el capítulo 1 y en éste se citan dramáticos llamamientos que pretenden concienciarnos sobre la gravedad de nuestro proceso de colisión con la naturaleza. Estos actos vienen con frecuencia acompañados de propuestas transformadoras. El Informe Meadows ("Los límites del crecimiento"), que el Club de Roma presentó a la primera Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Estocolmo en 1972, proponía un crecimiento cero para los países industrializados (Meadows *et al.*, 1972). El Informe Meadows tuvo un amplísimo eco, se vendieron millones de ejemplares; y tal vez por ello, y porque la propuesta atentaba contra la línea de flotación del sistema económico capitalista, fue objeto de un fortísimo ataque por parte de los economistas ortodoxos.

La polémica suscitada por el Informe Meadows pronto se desvaneció, porque supuestamente la realidad lo había invalidado con la drástica reducción en el consumo de recursos que se produjo a partir de 1973 por la crisis económica que fue magnificada por la escalada de precios del petróleo. En realidad, esta crisis no invalidaba el Informe Meadows, ya que su argumento principal era que se producirían pronto escaseces agudas de recursos naturales si se mantenían las series de incrementos de consumo que se venían dando en la onda de expansión económica de la posguerra. Y la crisis rompió esas series y alejó el problema, pero no lo resolvió, como se ha puesto de manifiesto posteriormente. Y la magnitud de los problemas que genera el crecimiento ilimitado lleva a que ya no sean infrecuentes las opiniones contrarias al mismo desde el ámbito institucional. Un informe del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y de la Agencia Internacional de Energía (AIE) afirma: "La persecución implacable del crecimiento económico dejará a nuestros hijos con mayor herencia de recursos de origen humano, pero agotará seriamente los recursos naturales" (PNUMA y AIE, 2002: 5).

Los Estados de economía planificada (el bloque soviético y China) también hicieron suya la bandera del crecimiento ilimitado, aunque tal premisa no fuera

necesaria para la supervivencia de sus sistemas económicos, pero sí para la de sus regímenes políticos. El hundimiento del bloque soviético (en gran medida debido al estancamiento económico) y la deriva china hacia una economía de mercado, aunque tutelada por el Estado, muestran la importancia del crecimiento ilimitado para la legitimidad de regímenes totalitarios. Esta política ha sido muy bien resumida en el lema "Todo para el pueblo, pero sin el pueblo". Se puede argumentar que los Estados del bloque soviético tenían bajas rentas per cápita, debido a productividades escasas y en algunos casos a que, además, tenían un bajo grado de industrialización. Sin embargo, los partidos comunistas que gobernaban (y en el caso chino gobiernan) podían haber planteado la necesidad de crecer hasta que se hubiera alcanzado la satisfacción de las necesidades básicas de toda la población u otro objetivo de mayores rentas. Pero no lo hicieron. La obsesión de la URSS era la superación económica de EE UU.

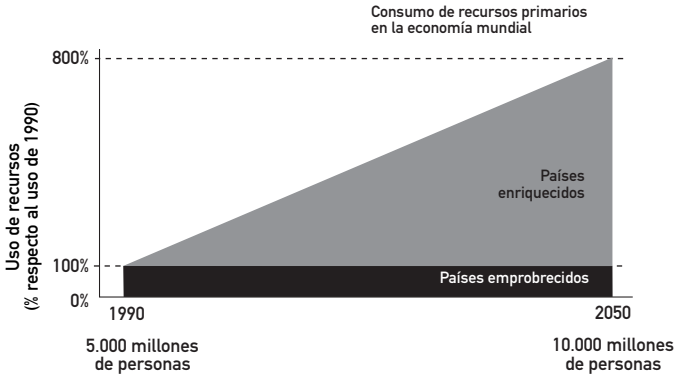
Aparte de la escasez absoluta de los recursos naturales, ésta se suele agudizar por determinadas preferencias sociales. Ocurre esto con los bienes que no presentan una escasez física de inmediato, pero que termina por aparecer, y a veces de forma muy aguda, porque solo una pequeña parte de estos bienes es fuertemente demandada. Es el caso de la demanda de suelo para viviendas, locales comerciales, etc., en zonas altamente valoradas por la sociedad. Hirsh (1984: 46 y ss.) considera que en estas circunstancias estamos ante una escasez social pura, y denomina "bienes posicionales" a los bienes afectados por esta escasez. Harrow definió estos bienes como "bienes oligárquicos", en contraposición con los "bienes democráticos", que no están sometidos a limitaciones sociales.

A medida que se produce un crecimiento económico, la demanda de bienes sujetos a limitaciones sociales aumenta, lo que se traduce en una mayor dificultad para acceder a ellos o en una pérdida de su utilidad. En el primer caso el aumento de la demanda hace subir los precios, con lo que para acceder a ellos no es suficiente aumentar la riqueza, sino que es necesario mejorar la situación posicional en la escala de distribución de aquélla, es decir, aumentar la riqueza más que los competidores. Debido a la escasez absoluta que representan los bienes posicionales, los vendedores se ven obligados de manera especial con estos bienes a transgredir la premisa de transparencia que debe cumplir un mercado eficiente. La dinámica del mercado les impulsa a realizar ventas masivas (mediante una publicidad engañosa) de supuestos bienes posicionales, ocultando que en la medida en que esto ocurre su utilidad se deteriora. Por ejemplo, la publicidad de viviendas "en primera línea de playa" que se ofertan en zonas costeras, pues resulta evidente que no hay longitud de playas que permitan tal oferta.

Pero se debe llevar la reflexión de Hirsh a un plano más importante: el de la escasez planetaria de muchos recursos naturales, en un contexto de apropiación y de consumo ampliamente desigual de recursos entre los diversos grupos de países. Los países de la OCDE tienen solo el 15% de la población mundial, pero consumen el 56% del petróleo, el 60% del gas y alrededor del 50% de los minerales. El consumo per cápita en la OCDE de recursos naturales es más del doble del de China. El gráfico 1 muestra los consumos de recursos de una hipotética generalización del nivel de consumo de recursos de los países No-OCDE para 2050, mientras que los países OCDE elevarían solo ligeramente su consumo. El consumo mundial se elevaría en un 800% (Ayres, 2008).

GRÁFICO 1

EL MODELO DE DESARROLLO ACTUAL ES UN BIEN POSICIONAL



FUENTE: AYRES (2008: 287).

Así que la generalización del modelo citado a la mayor parte de la población supondría un rapidísimo proceso de agotamiento, aparte de descomunales problemas ambientales, fruto del proceso. La consecuencia evidente es que el modelo de producción y consumo dominante es un bien posicional. Hasta hace poco tal generalización era un evento poco probable, pero la emergencia de países muy poblados (como China o la India, entre otros) hace que la extrapolación se convierta en una realidad y que, en consecuencia, se acelere el proceso de agotamiento de recursos y se multipliquen los impactos ambientales.

La propuesta de decrecimiento surge recientemente en el seno del movimiento antiglobalización y es una muestra de la pujanza del movimiento anticapitalista mundial. El término decrecimiento representa una provocación [o un "eslogan o *palabra-bomba*", según Martínez Alier (2008)] en unas sociedades rendidas a la idea del crecimiento ilimitado y su objetivo es provocar un debate

sobre la necesidad de crear economías autocentradas que vivan de sus propios recursos de forma sostenible. La propuesta muestra su carecer más polémico cuando se analiza desde la óptica de los países pobres, que necesitan que su producto económico crezca (para atender a las necesidades de la población y para alcanzar un nivel de renta per cápita capaz de satisfacer las necesidades esenciales de toda la población) y carecen de tecnologías de alto poder desmaterializador (Latouche, 2008). Martínez Alier (2008) plantea el término de "decrecimiento soostenible" asociado al enfoque de la economía ecológica (de la cual él es un miembro destacado): "La economía debe decrecer físicamente". Es decir, no importa que crezca el producto económico, siempre que se reduzca el consumo de recursos naturales. Aunque, como veremos, un crecimiento ilimitado siempre acaba aumentando el consumo de recursos.

Al establecer un requisito monetario: crecimiento cero o decrecimiento del agregado monetario que es el Producto Interior Bruto (PIB) (suma de los valores monetarios añadidos en el proceso económico), no se garantiza la sostenibilidad, porque hay que ver su efecto en la base física. El problema de la insostenibilidad es biofísico: destrucción de los ecosistemas planetarios y agotamiento de recursos de la corteza terrestre. Si se produjera un crecimiento cero de las economías industrializadas, éstas seguirían siendo insostenibles (están basadas en los combustibles fósiles y seguirían despilfarrando otros recursos) y el crecimiento de los países menos industrializados con el mismo modelo que tienen los países industrializados multiplicaría los impactos anteriores. En el caso de decrecimiento, un nivel más bajo de actividad económica reduciría el nivel de insostenibilidad del mundo industrializado, pero no la eliminaría, porque seguiría manteniendo el mismo modelo de despilfarro de recursos.

Además, es muy posible que una economía sostenible (que, como más adelante veremos, es aquella que utiliza la energía solar y cierra los flujos de la base de materiales que utiliza) pueda crecer sin atentar contra la sostenibilidad. Se conseguiría, simplemente, aumentando el valor mercantil de los recursos que usa de forma sostenible al utilizar diseños y tecnologías más eficientes. Aunque existe otra opción posible: la reducción del tiempo de trabajo.

Desmaterialización del crecimiento

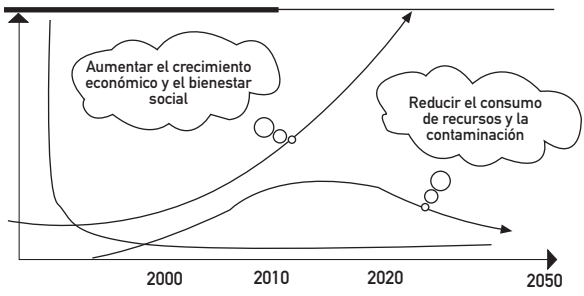
Los economistas ortodoxos se niegan a aceptar tal hipótesis, incluso en las circunstancias actuales, que muestran graves problemas ambientales y de recursos. Samuelson cree que es una equivocación identificar básicamente los

problemas de contaminación con las naciones industrializadas, y que no es real la propuesta de mantener "congelado" el PIB de los países ricos para permitir que los pobres puedan desarrollarse. Friedman afirma que tales propuestas van en contra del derecho de los ciudadanos a decidir libremente, que nadie sabe cuáles son los límites de la Tierra y que se exageran los problemas (como ocurrió en el pasado, en su opinión), para concluir que la sociedad tiene muchos problemas, y "el ambiental no es de los más serios". Por último, Hahn se muestra contrario a la idea de que hay un consumo excesivo, porque considera que la mayor parte del consumo está mejorando mucho la situación de las personas. Estos economistas admiten que solo conocen los problemas ecológicos a través de los medios de comunicación (Ravaioli y Ekins, 1995: 60 y ss.).

Sin embargo, los gobiernos se ven en la obligación de hacer frente a problemas que preocupan a la población, como el cambio climático o el encarecimiento de los recursos estratégicos. Como dice la "Estrategia Revisada de la UE para un desarrollo sostenible", las "tendencias negativas reclaman una solución urgente" (Consejo Europeo, 2006, 10117/06). Pero, en vez de adoptar políticas transformadoras, se acogen a un marco teórico que supuestamente permite dar respuesta a los problemas sin renunciar al crecimiento ilimitado. Y el marco teórico que supuestamente satisface las premisas anteriores es el de la desmaterialización del crecimiento o de desacoplamiento del crecimiento de la base física. Se trata de seguir creciendo ilimitadamente al mismo tiempo que disminuyen el consumo de recursos y los impactos ambientales, tal como se muestra en el gráfico 2. Una variante de esta teoría es la de *descarbonización*. Como es lógico, se refiere al desacoplamiento entre el crecimiento económico y uso de combustibles fósiles.

GRÁFICO 2

TEORÍA DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO CON DESMATERIALIZACIÓN



FUENTE: ZHU DAJIAN (2006) TONGJI UNIVERSITY, WWW.PMPP.CN.

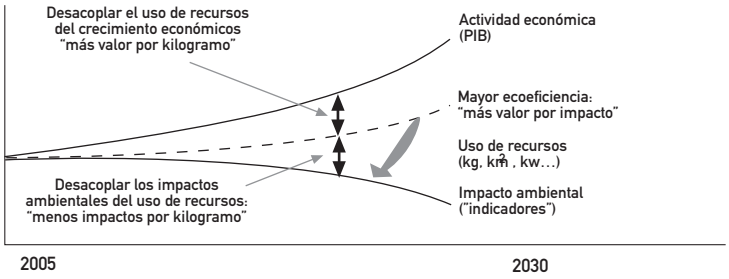
Esta teoría está asumida por la UE, la OCDE y algunos gobiernos europeos. La Estrategia Nacional de Desarrollo Sostenible de Dinamarca establece ocho objetivos, siendo el primero "el crecimiento económico se debe desacoplar de los impactos ambientales" y el resto son necesarios para alcanzar el desacoplamiento (Gobierno danés, 2002). La "Estrategia Ambiental para la primera década del siglo XXI" de la OCDE (2002*a*) establece cinco objetivos, entre los que se encuentra el desacoplamiento, pero los otros cuatro son requisitos para alcanzar el primero. La UE lo repite incansablemente, pero citaremos solo dos textos. La Comisión Europea (2003*e*: 14) afirma que "el desacoplamiento entre el crecimiento económico y la degradación ambiental es el tema central de la EDS de la UE". El primer "objetivo clave" de la ERDS es "prevenir y reducir la contaminación ambiental y fomentar el consumo y la producción sostenibles para romper el vínculo entre crecimiento económico y degradación" (Consejo Europeo, 2006).

Sin embargo, nos presentan dos tipos de desmaterialización o desacoplamiento. Uno que se denomina desmaterialización absoluta y que es la teoría descrita hasta ahora. El otro es la llamada desmaterialización relativa y significa el incremento de la eficiencia en el uso de recursos; supone aumentar el valor mercantil creado por unidad física de recurso. Este tipo es el que se suele preferir porque resulta más fácil. De hecho, las estadísticas nos muestran un continuo avance de la eficiencia. Sin embargo, tales estadísticas están sobrevaloradas, al no tener en cuenta la deslocalización de gran parte de la industria pesada de los países más industrializados a países emergentes. Así que no se contabiliza como consumo del importador la energía invertida en la fabricación de, por ejemplo, los metales importados. Pero el aumento de la eficiencia, en cualquier caso, no garantiza la desmaterialización. El gráfico 3 muestra que el aumento de la eficiencia no da lugar a una desmaterialización, porque el consumo de recursos crece a pesar de haber aplicado las medidas de mejora de la eficiencia, aunque bastante menos de lo que crece el PIB. Por el contrario, la curva de desmaterialización absoluta muestra un claro retroceso en el consumo de recursos y en los impactos ambientales.

La propuesta de desmaterialización del crecimiento (o de desacoplamiento absoluto) representa un enfoque conceptualmente más correcto que el de las propuestas de crecimiento cero o de decrecimiento, porque (tal como hemos visto) asume que la insostenibilidad es la degradación de la base biofísica de la economía y que este problema debe ser abordado directamente: reduciendo drásticamente los impactos ambientales y conservando los recursos. No obstante, existen contradicciones claras entre esta teoría y la de las tres sostenibilidades, que, como es habitual, se intentan eliminar con falacias.

GRÁFICO 3

DESACOPLAMIENTOS ABSOLUTO Y RELATIVO



FUENTE: BRINGUEZU (2006: 8), WUPPERTAL INSTITUTE.

La desmaterialización es presentada como sostenibilidad ambiental, de forma que, en principio, no sería incoherente con la teoría de las tres sostenibilidades. Pero este enfoque es incorrecto, porque aquí aparecen dos dimensiones (la ecológica y la económica) y, además, la primera determina la segunda, porque se expresa como una condición ineludible para que el crecimiento pueda continuar indefinidamente, como claramente refleja el gráfico anterior. Nos encontramos, por tanto, ante un concepto bidimensional (se dan las dimensiones económica y ambiental). Así que la teoría de la desmaterialización coincide con el concepto de sostenibilidad de Brundtland. Por el contrario, no es coherente con el Informe Brundtland su defensa del crecimiento ilimitado, ni tampoco el olvido de la dimensión social.

Pero las contradicciones no se circunscriben exclusivamente a las existentes entre las dos teorías comentadas. Frecuentemente se defiende la teoría de la retroalimentación positiva entre crecimiento económico y protección del medio ambiente. El crecimiento económico y la protección del medio ambiente, lejos de ser contradictorios, se refuerzan mutuamente. El mecanismo es el siguiente: primero aumenta la riqueza de las sociedades, lo que permite que se invierta más en protección del medio ambiente, y un medio más sano estimula el crecimiento económico. Esta teoría viene defendiéndose desde hace más de dos décadas. La ERDS de la UE la cita una vez más: "La EDS UE y la Estrategia de Lisboa para el crecimiento y el empleo […] reconocen que los objetivos económicos, sociales y medioambientales pueden reforzarse mutuamente y, por tanto, deben avanzar juntos" (Consejo Europeo, 2006).

Desde el punto de vista conceptual, la propuesta de desmaterialización absoluta del crecimiento tiene coherencia formal, otra cosa es que sea posible.

Para evaluarla es necesario analizar la posibilidad de que se pueda producir un crecimiento ilimitado al mismo tiempo que se reducen el consumo de recursos y los impactos ambientales. Los centros de poder la defienden en base a dos argumentos. Uno es que el desarrollo del sistema económico provoca un peso creciente en el producto económico del sector terciario o de servicios, conocido como terciarización de la economía. Otro es la innovación tecnológica.

El proceso de terciarización se manifestaría en una creciente aportación al producto económico de este sector, hasta llegar a la situación actual, en el que es responsable de la gran mayoría del producto económico de las economías industrializadas. Por ejemplo, el empleo del mismo ha pasado en cuarenta años del 40% del total al 75% en Suecia. Se constata que si bien en la primera fase de la industrialización la actividad económica se desplaza de la agricultura a la industria, posteriormente se produce un cambio estructural hacia los servicios. Y se asume que el primer desplazamiento genera un incremento de los impactos ambientales, mientras que el segundo los disminuye.

A lo largo del tiempo los sectores primario y secundario han sido despojados de funciones que son inherentes a ambos, porque sin ellas no son posibles. Por ejemplo, el transporte se considera que es un servicio, pero no es concebible un proceso productivo sin el transporte de mercancías y de trabajadores. Por otro lado, en las últimas décadas las industrias han buscado la reducción de costes contratando funciones que históricamente han venido desempeñando y que son imprescindibles para el proceso productivo, como son la gestión contable, de la nómina o la formación permanente de los trabajadores. La aportación decreciente al PIB del sector industrial se produce por un alto ritmo de mejora de la productividad, hecho que no ocurre en el sector servicios, en el que frecuentemente ni siquiera puede ser estimada con un mínimo rigor.

Por otro lado, numerosos estudios desmitifican el carácter desmaterializador de muchos de los servicios. Un estudio realizado por el economista danés Jespersen en relación con los consumos sectoriales de energía muestra que no hay apenas diferencias de consumo entre el sector de servicios privados y el sector secundario. El consumo de energía directo es mucho menor, pero es poco menor cuando se tiene en cuenta también el consumo de energía indirecto, el necesario para producir y distribuir insumos procedentes de otros sectores económicos que llevan implícitos los servicios privados. En el caso de los servicios públicos el consumo de energía es mucho menor, lo cual no es debido a una mayor eficiencia del sector público, sino a que los servicios que tradicionalmente son de titularidad pública (educación, sanidad, justicia, administración, etc.) son de baja intensidad energética y alta en trabajo (Norgard, 1998). Por otro lado,

el incremento del consumo de servicios no genera una disminución de bienes disponibles, sino que este proceso se desarrolla como una adicción cuando se ha alcanzado un consumo alto de bienes (2001).

La propuesta adicional de que la desmaterialización descansa, en buena medida, en el desarrollo tecnológico es lógica, ya que nace del paradigma dominante, como hemos visto en el capítulo 1. De las 16 directrices de la "Declaración sobre los principios rectores del desarrollo sostenible", aprobada por el Consejo Europeo de Bruselas (2005), tres se refieren directamente al desarrollo tecnológico (incrementar y mejorar las inversiones en I+D, facilitar la innovación en todas sus formas y facilitar la difusión y la utilización eficaz de las tecnologías de la información y la comunicación,TIC). Varias más no se pueden concebir sin el desarrollo tecnológico (fomentar la utilización sostenible de los recursos, hacer más competitivo el entorno de las empresas, etc.).

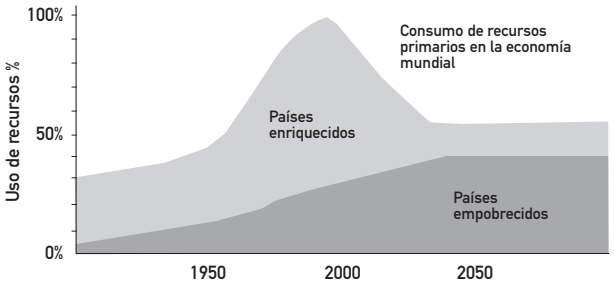
Y, a primera vista, parece tener solidez el argumento del desarrollo tecnológico como factor desmaterializador, pero vamos a ver que su potencial es insuficiente. Se puede afirmar que sería posible lograr una importante desmaterialización si se aplicaran de forma intensiva las tecnologías más eficientes que existen en el mercado y se cambiaran las pautas de consumo más impactantes. Ésta es la principal conclusión del Informe Factor 4 del Club de Roma, realizado por los Institutos Wuppertal (Alemania) y de las Montañas Rocosas (EE UU). Y llega a ella después de analizar 50 casos en los que si se aplican las premisas indicadas, se puede reducir por un factor 4 el consumo de recursos (Weizsacker, Lovins y Lovins, 1994).

Por otro lado, algunos científicos (agrupados en el Club Factor 10) han llegado a la conclusión de que es necesario reducir a la mitad la escala planetaria actual de uso de materiales (incluidos los energéticos) y de impactos ambientes. Teniendo en cuenta el derecho universal a satisfacer las necesidades esenciales y partiendo de la premisa de que el 20% de la población es responsable del 80% del flujo de los materiales (que cada vez es menos real, sobre todo por la emergencia de China y la India), será necesario que en el futuro se produzca una reducción del 90% de las emisiones y consumos de materiales y energía de los países industrializados. El enfoque de esta propuesta se centra en la necesidad de desmaterialización y se basa en un optimismo tecnológico. El gráfico 4 explica la evolución del consumo de recursos en la OCDE y en el resto del mundo necesario para alcanzar la reducción del 50% (Gardner y Sampat, 1999: 50).

Para poder lograr la desmaterialización en un contexto de crecimiento económico elevado es necesario un incremento muy fuerte y sostenido de la productividad del uso de recursos. En un primer momento, con la aplicación intensiva

GRÁFICO 4

EL CAMINO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE



FUENTE: AYRES (2008: 289).

de las mejores tecnologías existentes y una mejora rápida de las pautas de consumo (lo cual es aún más problemático) se podría lograr un desacoplamiento absoluto. La rapidez es una premisa ineludible, porque el crecimiento continuo erosiona los logros de una mayor eficiencia. Pero, una vez aplicadas de forma masiva las tecnologías más eficientes, que constituyen un *stock* tecnológico acumulado durante mucho tiempo y que no ha sido aprovechado adecuadamente, solo se contaría con el flujo de tecnologías nuevas, que indudablemente serían incapaces de sostener la tendencia desmaterializadora. Además, el *efecto rebote* relativiza los logros del desarrollo tecnológico. Numerosos estudios muestran que los consumidores, al aplicar técnicas más eficientes, reducen el gasto de recursos y por ello tienen más renta disponible, la cual se emplea en aumentar los niveles de consumo. Todo ello lleva a la conclusión de que la desmaterialización de la economía solo se puede conseguir si se produce una masiva transformación tecnológica y si las economías de la OCDE, además, alcanzan el estado estacionario.

SEGUNDA PARTE

PRINCIPIOS E INSTRUMENTOS DE SOSTENIBILIDAD

CAPÍTULO 6

PRINCIPIOS DE SOSTENIBILIDAD

Ante la insostenibilidad de la civilización industrial, la naturaleza nos ofrece unos comportamientos de los cuales podemos inferir los principios de una economía sostenible. Éstos suponen la subversión de los fundamentos teóricos (la epistemología) de la teoría económica neoclásica y de su estatus entre las ciencias.

1. LOS SCA: LOS SISTEMAS NATURALES

En el capítulo 1 hemos visto que uno de los rasgos distintivos del paradigma dominante es el pensamiento lineal, y que, sin embargo, lo que prolifera en el mundo son los sistemas complejos, por lo que a partir del pensamiento lineal no se pueden entender los comportamientos de los sistemas naturales, sociales, etc. Un sistema, o dicho de otro modo, un conjunto funcional tiene propiedades que no pueden ser inferidas de sus partes. Según Costanza (1993) un sistema complejo se caracteriza por: "(1) fuertes (normalmente no lineales) interacciones entre las partes; (2) lazos complejos de retroalimentación que hacen difícil distinguir entre causas y efectos; (3) significativas diferencias en escalas temporales y espaciales, discontinuidades, umbrales y límites; (4) todo lo cual imposibilita el enfoque de agregar partes o comportamientos a escala

pequeña para llegar a conclusiones a gran escala". Habría que añadir que los sistemas complejos necesitan de la aportación continua de un flujo de energía para no dejar de funcionar. Su comportamiento está determinado por las interacciones entre sus elementos, las cuales no son lineales. Por ello tienen una dinámica general difícil de predecir. En un sistema complejo todo está conectado, y esto determina que, cuando un elemento sufre un impacto directo, el resto de los elementos se ven afectados. Y una pequeña perturbación puede desencadenar cambios desproporcionadamente grandes. Cuando tales sistemas tienen capacidad para evolucionar adaptándose a los cambios del entorno, se les define como SCA. Por medio de interacciones no lineales entre sus componentes los SCA se organizan jerárquicamente en estructuras que determinan, y son reforzados por, los flujos de individuos, materiales, energía e información. Los SCA son abiertos y disipativos, es decir, necesitan aportes exteriores porque están continuamente enviando a su entorno materiales y, sobre todo, energía. Los SCA naturales no pierden otros materiales que los disipados y tienden a disminuir tal flujo a medida que maduran. Estos principios son coherentes con la realidad de que el planeta es un sistema cerrado y finito. Son ejemplos de SCA una célula, el cerebro, el sistema inmunológico, un organismo, las colonias de insectos sociales, los ecosistemas, la biosfera, una economía, una sociedad, etc. (Matutinovic, 2002: 422; Nielsen, 2007: 6-16).

Los SCA naturales se caracterizan por su estabilidad, es decir, por su capacidad de mantener sus funciones frente a los impactos exteriores. Los ecosistemas son la primera unidad básica capaz de ser autónoma: "Un ecosistema es un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales, y microorganismos y el medio inerte, interactuando como una unidad funcional" (MEAB, 2006*b*: 29). Constituye, también, el nivel más bajo que está completo, es decir, que "tiene todos los componentes necesarios para funcionar y sobrevivir a largo plazo" (Odum y Sarmiento, 1997: 46). Dicho de otra forma, constituye el nivel más bajo capaz de cerrar los flujos de los materiales y la mejor estructura para captar y utilizar la energía (Hall y Klitgaard, 2006).

Los ecosistemas son extremadamente complejos. Tienen muchos compartimentos, con muchas conexiones o flujos que interrelacionan los compartimentos y muchos controles y retroalimentaciones. Para reflejar esta realidad se suele decir que en la naturaleza "todo está conectado con todo" (Nielsen, 2007: 6). Los flujos son de nutrientes, agua, tóxicos, energía, individuos e información. Los ecosistemas integran todas las partes bióticas y algunas abióticas, controlan los flujos de materiales y energía, tienen unos límites definidos, las especies o sistemas que los forman son altamente interdependientes

y tienen fuertes lazos de retroalimentación y coevolución con el medio (Abel y Stepp, 2003). A medida que un sistema natural madura, sus mecanismos estabilizadores se vuelven más sofisticados y su relación con el medio, más estable. Los ritmos de cambio de las especies son muy diferentes y más rápidos que los de los ecosistemas. La tasa de fotosíntesis de un bosque es menos variable que la de cada una de sus plantas. Los diferentes ritmos de actividad de los componentes de un ecosistema actúan como un mecanismo equilibrante de éste. A su vez, un ecosistema forma parte de otro mayor, que le da estabilidad y ejerce su jerarquía sobre los sistemas que lo conforman. En la naturaleza la jerarquía está determinada por el grado de aportación de cada especie al mantenimiento de los ecosistemas. Sin embargo, cada escala tiene una amplia autonomía. Un ecosistema está formado por subsistemas, los cuales evolucionan más rápidamente que él y, por ello, son el origen de los cambios de adaptación del ecosistema. Esta función se suele definir como *revuelta* (Callicott, 2002).

Las especies interactúan entre sí de forma no lineal: "La maquinaria viviente de la Tierra tiene tendencia al cambio catastrófico con muy poco aviso" (MEAB, 2006*a*: 18). Hay muchos ejemplos de tales cambios: "la emergencia de enfermedades, las alteraciones abruptas en la calidad del agua, la creación de *zonas muertas* en aguas costeras, el colapso de caladeros, y los cambios en los climas regionales" (MEAB, 2006*b*: 1). Por todo ello, el desarrollo exitoso de un sistema viene determinado por dos aspectos complementarios: una creciente diferenciación y diversidad, y su integración en una estructura jerárquica cada vez más compleja. Estas características les confieren una gran estabilidad porque les da capacidad para mantener sus funciones frente a procesos disruptivos (sequías, fuegos, plagas, etc.) (Levin, 2000).

La vida en el planeta se preserva y desarrolla debido a que los ecosistemas realizan tres funciones fundamentales, que denominamos abióticas: cierre de los flujos de los materiales, utilización de la energía solar y actuación sobre el medio abiótico o inerte para mantener sus propiedades físico-químicas dentro de un intervalo adecuado para la preservación de la vida. Para garantizar las funciones abióticas (y, en última instancia, para mantener la enorme estabilidad, dentro de un marco evolutivo, que ha caracterizado a la biosfera) los ecosistemas muestran unas características típicas: evolución, diversidad, estructuras jerárquicas, autosuficiencia, descentralización y competencia y cooperación, pero siendo esta última la dominante. Toda esta estructura compleja y jerarquizada tiene el objetivo de preservar la estabilidad de los sistemas naturales.

Por último, la naturaleza tiene estructuras "económicas": produce materiales mediante fotosíntesis, el consumo se produce a lo largo de la cadena trófica, la cual determina un intercambio de "bienes". Y todo funciona con la energía solar (Hall y Klitgaard, 2006).

2. EL PROCESO DE CREACIÓN DE LA TEORÍA DE LA SOSTENIBILIDAD

Las sociedades precapitalistas muestran un alto grado de equilibrio con el medio, aunque hay ejemplos notables de insostenibilidad y colapso. Por otro lado, resulta curioso que la primera escuela de economía, la fisiocrática, que aparece en los albores del capitalismo, pretenda construir una economía sostenible en las sociedades complejas, entroncando con el enfoque económico del mundo antiguo, cuando empieza a ser destruido.

LA SOSTENIBILIDAD DEL MUNDO ANTIGUO

Hasta el siglo XVII predominó una visión organicista y religiosa del mundo, según la cual la sexualidad religiosa era el origen de la acción productiva de la naturaleza. De la unión de la Tierra (madre) y el Cielo (padre) nacían los animales, las plantas y los minerales. Se creía que todas las cosas estaban dotadas de vida, incluso los minerales, que se suponía que crecían en la matriz de la Tierra. Los seres humanos no podían alterar sustancialmente la creación de riqueza, sino actuar dentro del orden de la naturaleza para maximizar la producción física. Esta visión dominó las sociedades de recolectores y cazadores y de agricultura incipiente. Aunque hay notables excepciones de comportamiento insostenible y colapso, también las hay de sociedades que corrigieron su dinámica insostenible y sobrevivieron. Son bien conocidos los casos de la isla de Pascua y de los ananzaris del oeste de EE UU. En el primer caso la competición entre los colonos polinesios por la construcción de gigantescas efigies llevó a la destrucción del ecosistema local y a una reducción de la población de 10.000 individuos a unos pocos cientos en estado de gran precariedad. Un caso notable de corrección de un comportamiento insostenible es el de la isla de Tikopia, en el Pacífico sur. Los colonos polinesios que ocuparon la isla 3.000 años antes de nuestra era fueron destruyendo el ecosistema local para alimentar a una población en expansión durante 1.500 años. Ante la insostenibilidad del proceso desarrollaron una producción agrícola al estilo de la permacultura,

crearon un ecosistema altamente productivo y de gran variedad y estabilizaron la población (Gowdy, 2006).

LA CONSTRUCCIÓN DE LAS BASES TEÓRICAS DE LA SOSTENIBILIDAD

Los fisiócratas (que constituyen la primera escuela económica) se desprenden del concepto religioso de lo económico, pero mantienen la idea organicista y la preocupación por la base físico-natural sobre la que se asienta, así como por los valores vitales. Consideran que el ser humano es capaz de acrecentar y controlar a voluntad la producción mediante el trabajo, con la ayuda de la ciencia, que suplanta el papel activo atribuido anteriormente a las potencias religiosas. El binomio tierra-trabajo constituye la nueva explicación de la riqueza. En palabras de W. Petty, "Todas las cosas deben ser valoradas por dos denominaciones naturales, que son la Tierra y el Trabajo" (Roll, 1966: 107). Los pensadores de los siglos XVII y XVIII se mantienen dentro de este binomio, variando solamente el peso concedido a cada uno de los dos elementos. Por ello la naturaleza imponía sus límites al trabajo, y solo el respeto a aquélla podía garantizar la reproducción ilimitada de la actividad económica. Como apuntan Mirabeau y Quesnay, la ciencia económica debía orientarse a "conseguir la mayor producción posible, mediante el conocimiento de los resultados físicos que aseguren la recuperación de los recursos invertidos" (Naredo, 1987: 104 y ss.).

Los fisiócratas pensaban que las únicas actividades productivas, es decir, las que acrecentaban la riqueza, eran aquellas que aumentaban la producción material, las que generaban un incremento neto de materia (producto neto, según su propia terminología). Distinguían tres actividades productivas: agricultura, pesca y minería. La introducción de la minería se explica porque, como era corriente en la época, se creía que la Tierra generaba continuamente nuevos minerales, por lo que solo era necesario dejar descansar una mina agotada para que volviera a suministrarlos. El comercio no se consideraba una actividad productiva porque no creaba producto neto. Criticaran la separación que estaba teniendo lugar del concepto de producción con respecto al significado físico. Para Quesnay era "asilo de sofismas". Los fisiócratas concedían más importancia al valor de uso de las mercancías que al valor de cambio, aunque aceptaban que el segundo, el valor monetario, era el que otorgaba carácter de riqueza a las mercancías. Según Quesnay, "el valor venal del dinero es la base de toda estimación y de toda imputación en la economía política". Sin embargo, no consideraban posible que la riqueza pudiera despegarse de forma permanente de su soporte físico, por lo que la única forma de asegurar un crecimiento

sostenido de los valores monetarios era colaborar con las leyes de la Tierra para acrecentar el producto neto.

En los fisiócratas, por tanto, coexisten dos niveles de análisis. Por un lado, tratan de acrecentar los valores de uso, es decir, se preocupan por el carácter utilitario de la producción. Y, por otro, razonan en términos monetarios, de valor de cambio. Y es que, dados los conocimientos científicos de la época, no tenían otro medio de medición que el dinero. Este problema facilitó la crítica de los clásicos y la marginación del pensamiento fisiocrático, es decir, el análisis de *lo económico* a partir de sus repercusiones en el medio físico (Naredo, 1987: 104 y ss.). Con Adam Smith se produce la ruptura con el universo fisiocrático y se sientan las bases del sistema económico imperante, basado en el reduccionismo monetario.

Los economistas clásicos, a pesar de su ruptura con el pensamiento fisiocrático, pensaban que era imposible una economía de crecimiento perpetuo. David Ricardo considera que la explosión poblacional se pararía al alcanzarse la máxima producción de alimentos y saca la conclusión de que la economía tendería al estancamiento, debido a los altos costes salariales provocados por la necesidad de utilizar hasta las tierras menos productivas. Y plantea que esta tendencia estructural al estancamiento económico solo puede ser superada mediante la intervención del Estado, inaugurando así la escuela neo-ricardiana o keynesiana. Marx criticó el expolio de la tierra por parte del capitalismo. Sin embargo, John S. Mill es el único que propone una visión de economía sostenible al propugnar una economía de estado estacionario, es decir, una economía que evoluciona y se perfecciona, pero que no crece físicamente. En el siglo XX Georgescu-Roegen es quien define las bases de una economía sostenible (que denominaba bioeconomía). Su reflexión parte del mecanicismo de la economía ortodoxa, que la incapacita para dar respuestas adecuadas a una realidad que no sabe explicar. Considera que el crecimiento económico es imposible, porque lleva al agotamiento de las fuentes energéticas, dado que se degrada con el uso en base al segundo principio de termodinámica, que muestra que la energía, al ser usada, se degrada y no puede volver a utilizarse. Por ello se convierte en un defensor de la evolución, frente al crecimiento perpetuo, y de la transdisciplinaridad, ya que desde la economía no se podía construir la bío-economía (Carpintero, 2006: 103-105). H. Daly (discípulo de Georgescu-Roegen y el referente moderno de la economía ecológica) retoma la visión del estado estacionario de Mill y lo profundiza. Las premisas son la constancia de la población, del capital construido (infraestructuras, edificios, máquinas, etc.) y la minimización

del uso de energía agotable y de materiales. Un rasgo común de los tres últimos autores es que "interpretan el sistema económico como un subsistema concreto dentro de un sistema más general que es la biosfera", por lo que no puede "estar al margen de las leyes que gobiernan el funcionamiento de la biosfera" (Carpintero, 2006: 213).

Esta visión venía siendo propuesta durante décadas por prestigiosos ecólogos como E. Odum, Hutchinson, Hall, Margalef y otros (Erkman, 1998: 22, 41). Incluso Marshall, considerado como el gran sintetizador del discurso neoclásico, consideraba que la biología representa un paradigma más apropiado para la economía. El referente está "más en la biología económica que en la dinámica económica" (Carpintero, 2006: 217). Leontief pedía que otras ciencias (entre las que se encontraban la ecología y la biología) contribuyeran a remover la economía dominante del "espléndido aislamiento en que se encuentra" (Hall y Klitgaard, 2006). En el informe de síntesis de un seminario de la Universidad de Maryland (cuyo objetivo era definir un "Estados Unidos Sostenible y Deseable" para 2100) se afirma: "La gente reconocerá que los seres humanos somos parte de la naturaleza, una especie entre muchas, y que debe obedecer las leyes impuestas por la naturaleza" (Farley y Costanza, 2002: 246). Así que, como nos recuerda Benyus, "no necesitamos inventar un mundo sostenible, éste está ya realizado", está en nuestro entorno (Hawken *et al.*, 1999: 73).

3. PRINCIPIOS DE SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS SOCIOECONÓMICOS

La economía humana no puede ser más que un subsistema de esta economía general de los materiales y la energía, que es el componente no vivo (*abiótico*) de la ecología, porque un subsistema no puede transgredir las normas del sistema al que pertenece. Así que la economía humana solo será sostenible cuando imite a la naturaleza. Esto supone convertir en principios guías los comportamientos naturales. Es decir, los comportamientos abióticos (cierre de los flujos de los materiales, captar la energía solar y mantener las constantes físico-químicas del planeta) se convierten en los principios abióticos. Y los comportamientos bióticos, necesarios para que se puedan dar los abióticos, dan lugar a los principios bióticos, que en esencia se resumen en el comportamiento ecosistémico, es decir, en evolución, diversidad, autosuficiencia, descentralización, jerarquía natural y predominio de la cooperación sobre la competencia.

3.1. PRINCIPIOS ABIÓTICOS

LOS CICLOS DE LOS MATERIALES: En la naturaleza casi todos los materiales son reciclados. Del gran número de elementos y compuestos orgánicos simples hallados en la superficie de la Tierra o cerca de ella, solo algunos son esenciales para la vida. Son las llamadas sustancias biogénicas o nutrientes. En la naturaleza los organismos "tienden a atesorar y recircular los elementos vitales, como el fósforo, que son relativamente escasos respecto a sus necesidades" (Odum y Sarmiento, 1997: 126). A medida que los ecosistemas se desarrollan (los ciclos de vida son más complejos) tienden a aumentar su grado de cooperación y autosuficiencia, de reciclaje de los materiales y el tiempo de renovación y acumulación de los mismos. Los residuos se convierten en la principal fuente de alimentación. En un bosque maduro menos del 10% de la producción neta es consumida en forma viva (hierba, por ejemplo), la mayor parte del resto de los nutrientes es materia muerta, y los nutrientes inorgánicos que al principio procedían del exterior se van convirtiendo lentamente en *intrabióticos* (Goldsmith, 1996: 381). La naturaleza tiende a mantener los nichos viejos y a crear nuevos, y esa proliferación de nichos "es unos de los mecanismos funcionales que explican el cierre de los ciclos de los materiales" (Nielsen, 200: 16). Tiende a cerrar los ciclos de los materiales a escalas territoriales pequeñas, ya que cuanto más cortos son los circuitos, mayor es la eficiencia en el aprovechamiento de los materiales y la energía. La naturaleza nos da abundantes ejemplos de este principio. En un bosque, la producción primaria es realizada por las hojas en la copa de los árboles. Éstas caen, son descompuestas y los nutrientes son captados por las raíces, transportados por los canales circulatorios del tronco y absorbidos. En un arrecife coralino las distancias entre los procesos es mucho menor, es la que existe entre las algas microscópicas y las especies embebidas en el arrecife que las comen. Aunque la mayor parte de los materiales están constantemente siendo utilizados a través de las cadenas tróficas a escala local, hay materiales sujetos a ciclos globales, como son los casos del carbono, fósforo, nitrógeno, azufre, etc.; son los ciclos biogeoquímicos (Nielsen, 2007: 12).

Al contrario de los sistemas naturales, los sistemas socioeconómicos (SSE) producen enormes cantidades y diversidad de residuos que son depositados en la naturaleza y la mayor parte de ellos no lo son en forma disipada. A escala planetaria se usan anualmente 57.643 millones de toneladas (mt) de materiales (conocidos como materiales directos) desglosados en: 18.024 mt de biomasa; 11.602 mt de combustibles fósiles; y 28.017 mt de minerales (desglosados en: 16.728 mt de minerales de construcción, 4.862 mt de materiales industriales y 6.427 mt de metales).

Sin embargo, para poder obtener estos materiales es necesario excavar otros muchos y utilizar grandes cantidades de oxígeno y agua, además de la enorme erosión del suelo que produce la agricultura industrial. Estos materiales constituyen los flujos ocultos de los procesos productivos y su dimensión es enorme: 27.544.293 mt (www.materialflows.net).

ENERGÍA SOLAR: El ciclo de los materiales y, en última instancia, de la vida, no se podría mantener sin la recepción de un flujo permanente de energía, lo cual exige que éste sea renovable. Siendo organismos autótrofos, las plantas fijan la energía solar para producir biomasa durante el proceso de fotosíntesis. Funcionan como centrales energéticas descentralizadas. La energía fijada va pasando a otros organismos a través de las cadenas tróficas en un proceso en cascada y sirve para producir alimentos y crear nuevos individuos, disipándose el resto en forma de calor a baja temperatura. Este flujo solo se da en un sentido, sin reversibilidad posible. Por ello, es necesario que la energía solar fluya permanentemente. Pero los ecosistemas maduros realizan estos procesos energéticos de forma altamente eficiente, siguiendo una serie de principios optimizadores, como los de disipación mínima, almacenaje máximo y máxima degradación (Nielsen, 2007: 16).

Por el contrario, los SSE se caracterizan por comportarse de forma totalmente contraria a la de los ecosistemas maduros. Utilizan casi exclusivamente recursos energéticos no renovables. Más del 90% de la energía comercial mundial es insostenible (combustibles fósiles y energía nuclear) y las tecnologías usadas son ineficientes. El rendimiento de la generación eléctrica no renovable no llega al 50% y el de los motores de explosión está en torno al 20%. Por el contrario, la potencia instalada de las principales renovables crece a ritmos anuales del 30-60%.

MANTENIMIENTO DE LAS CONSTANTES VITALE: El medio *biótico* (vivo) está actuando sobre el medio inerte (*abiótico)* para lograr que éste mantenga unas características físico-químicas que permitan la vida. Esto quiere decir que los dos medios han coevolucionado a lo largo del tiempo para formar un sistema complejo y autorregulado (Levin, 2000: 28). Los aspectos que son fisiológicamente controlados incluyen "la temperatura de la superficie, la composición atmosférica de los gases reactivos, incluyendo el oxígeno y el pH o grado de acidez-alcalinidad" y el grado de salinidad de los mares (Margulis, 1998: 121, 123). La composición de gases que conforman la atmósfera no es estable, porque algunos reaccionan entre sí (especialmente el oxígeno y el metano). Sin embargo, ha mantenido una composición extraordinariamente estable a lo

largo del tiempo, gracias a que la biosfera ha venido emitiendo gases y absorbiendo otros (especialmente CO_2) en cantidad necesaria para mantener el equilibrio. Por otro lado, la Tierra tiene una tendencia natural a aumentar su grado de acidez, y sabemos, como lo demuestra el fenómeno de la lluvia ácida, que la gran mayoría de los organismos vivos solo soportan cierto grado. Gracias a la actuación de microorganismos nitrificadores el medio biótico es capaz de producir la cantidad adecuada de amoniaco (NH_3) para impedir el proceso de acidificación. La naturaleza purifica el aire y el agua; destoxifica los residuos; controla las pestes; crea la capa de ozono que la protege de los niveles dañinos de radiación ultravioletas; etc. (Odum y Sarmiento, 1997: 72. Estas funciones se asemejan al sistema inmunológico de los organismos vivos.

El concepto Gaia pretende captar esta capacidad del ecosistema planetario para mantener estables las características físico-químicas del medio abiótico. Fue diseñado por Lovelock en la década de los setenta y ha sido refinado por Lynn Margulis. Frecuentemente se le define como "un superecosistema (pero no un superorganismo, ya que su desarrollo no está controlado genéticamente)", es decir, "una serie de ecosistemas interactuantes que componen un enorme ecosistema sobre la superficie de la Tierra" y que "se comporta como un sistema fisiológico (o mejor, un sistema geofisiológico) en algunos aspectos limitados" (Margulis, 1998: 123). Esta visión concuerda con el pensamiento dominante de las sociedades precapitalistas, el de la naturaleza como un sistema autoorganizado y autorregulado (Naredo, 1987).

Hasta ahora la civilización actual está actuando contra la dinámica gaiana. La especie humana está alterando los ciclos biogeoquímicos. El flujo de nitrógeno, provocado por la fabricación de abonos y el uso de combustibles fósiles, es semejante al flujo natural y empieza a ser considerado como un problema muy grave. El flujo del azufre antropocéntrico es ya superior al natural. Las actividades humanas cuadruplican el flujo de fósforo natural y, junto al nitrógeno, provoca eutrofización (Smil, 2002: 249). Los óxidos de nitrógeno y de azufre están acidificando los suelos y el agua y el aumento en la concentración de CO_2 en el océano se está convirtiendo en el principal factor de acidificación del mismo. Estas alteraciones, junto a las provocadas por la construcción y la minería, han llevado a que W.C. Clark *et al.* (2005) propongan que la época geológica actual debería llamarse "Antropoceno".

Sin embargo, podemos "convertirnos en herramientas de la naturaleza" (McDonough y Braugart, 2002) regenerando, dentro de lo posible, los espacios naturales degradados o destruidos, transformando la tecnosfera actual (que constituye el origen de la destrucción) en otra armónica con la naturaleza, al

estilo de las comunidades campesinas que aumentaron la biodiversidad de sus entornos y mejoraron la calidad de las tierras.

3.2. PRINCIPIOS BIÓTICOS

Hemos visto que solo se puede garantizar la permanencia de las funciones abióticas si las comunidades bióticas se organizan en ecosistemas, los cuales se caracterizan por los rasgos siguientes: evolución, diversidad, autosuficiencia, estructura jerárquica, descentralización y dominio de la cooperación sobre la competencia. Pero estas características solo se pueden entender desde una perspectiva sistémica, es decir, integrada e interrelacionada. Por ejemplo, una alta diversidad es consecuencia de un bajo nivel de competencia, de estructuras autosuficientes y descentralizadas (lo cual supone la existencia de diferentes formas organizativas, que, a su vez, determina una mayor diversidad de especies) y del tipo de jerarquía que predomina en la naturaleza (las escalas superiores ejercen una función estabilizante).

EVOLUCIÓN: Siguiendo el hilo conductor de este apartado, aquí pretendemos centrarnos en el análisis de la evolución de los ecosistemas, pero esto implica analizar la aparición de la vida en el planeta y su evolución posterior desde las formas más simples hasta las más complejas. La visión darwiniana presenta una evolución producida mediante la acumulación de multitud de cambios pequeños, fruto de la competencia entre especies. Por el contrario, la visión emergente muestra la evolución a partir de la producción de saltos generales (transformaciones que suponen nuevos niveles de complejidad). Las rocas se crearon hace unos 4.000 millones de años y unos 500 millones más tarde aparecen las formas más sencillas de vida, las células *prokariotes* (algas verdes-azules y sobre todo las bacterias), que carecen de núcleo, pero que suponen ya una complejidad muy grande. No existe una explicación consistente sobre cómo fueron creadas. El periodo transcurrido es muy pequeño para que lo fueran por azar. Otros saltos enormes en complejidad son el desarrollo de células con núcleo y la creación a partir de ellas de tejidos, órganos, organismos y especies. La *simbiogénesis* es la rama de la biología que estudia esos cambios. Por simbiosis se entiende el hecho de que todos los seres vivos estamos sometidos a un contacto físico permanente con otros seres. La s*imbiogénesis* explica "el origen de nuevos tejidos, órganos, organismos (e incluso especies) debido a la simbiosis permanente" (Margulis, 1998: 6). La naturaleza tiende a crear asociaciones simbióticas muy fuertes de organismos simples que, después de largos

periodos, dan lugar a su fusión para formar organismos más complejos. Esto supone transmisión genética por infiltración y asimilación. La simbiogénesis trata de explicar cómo se produjeron las primeras formas de vida (las células *prokariotes*), cómo evolucionaron hasta convertirse en células con núcleo (células *eukariotes*) y hacia formas más complejas. Por ello se define como "cambio evolutivo debido a la adquisición de conjuntos de genes" (Margulis, 1998: 9). Así que lo que empezó como una alianza inestable de formas distintas de vida se convierte en el origen de la mayor novedad evolutiva. Lo cual no quiere decir que quedan por comprender aspectos importantes de la evolución (Margulis, 1998: 20).

Por otro lado, los ecosistemas crecen hasta alcanzar la madurez y después evolucionan, según un proceso de equilibrio inestable. Y lo hacen para adaptarse a los cambios en su entorno y escogiendo los elementos adecuados de entre múltiples posibilidades, obedeciendo a determinados principios, por lo que "parecen orientados hacia un objetivo" (Nielsen, 2007). Vemos aquí que el desarrollo científico nos lleva de nuevo a la concepción organicista. La evolución de los ecosistemas es el resultado de múltiples procesos de interactuación. Por un lado, los grupos de organismos coevolucionan, así que la evolución de las plantas y los herbívoros está codeterminada. Por otro, la evolución biótica depende de la del medio abiótico (Odum, 1992). Los procesos biofísicos se desarrollan en una variedad enorme de escalas de tiempo y espacio: algunos duran horas o días y suceden en espacios muy reducidos; otros tienen lugar a lo largo de décadas, siglos e incluso milenios, y en territorios de miles de kilómetros cuadrados. Los procesos de las plantas y biogeoquímicos suelen ser los más rápidos; los de los animales y los abióticos de escala media se producen a escalas intermedias; y los procesos geomorfológicos son en general los más lentos (Holling, 1993). Por ejemplo, los tiempos de generación y regeneración del suelo y de los acuíferos pueden ser de cientos y miles de años.

Los SSE también evolucionan, pero raramente en virtud de un *criterio objetivo*, sino de criterios subjetivos, como las preferencias de los consumidores, los mecanismos de mercado, la política, los intereses de las grandes empresas transnacionales (GET), etc. (Nielsen, 2007: 8). Pero la evolución en función de los criterios subjetivos lleva implícita el crecimiento ilimitado de producto económico y el aumento incontrolado de la población. La especie humana, a diferencia de las otras especies, viene creciendo, y de forma meteórica, desde el principio del proceso industrializador. Además, el sistema económico de economía de mercado se ve obligado a crecer ilimitadamente. Mientras que los ecosistemas tienden a alcanzar un estadio de madurez, el sistema económico

actual no es capaz de alcanzarlo, "porque las escalas de evolución de las técnicas y tecnologías nuevas son más cortas que el tiempo que se necesita para estabilizar una situación" (Nielsen, 2006: 15). Así que no es propio del sistema alcanzar un estado estacionario.

COOPERACIÓN/COMPETENCIA: Existen seis tipos de interacciones principales entre dos o más especies: competencia, depredación, parasitismo, comensalismo, cooperación y mutualismo. Competencia significa que el resultado de la interacción es negativo para las especies involucradas. La depredación es positiva para el depredador y negativa para la presa. El parasitismo es negativo para el anfitrión y positivo para el parásito. El comensalismo es una forma simple de interacción positiva en la que una especie se beneficia y la otra no se ve afectada. La cooperación se da cuando las especies se benefician mutuamente, aunque el beneficio no es vital para ninguna de las dos. Mutualismo es una relación vital o muy necesaria para la supervivencia de las especies involucradas (Odum, 1992: 166). La teoría darwiniana de "la supervivencia del más apto" o fuerte es una simplificación de la realidad porque se centra exclusivamente en las interacciones negativas (competencia, depredación y parasitismo) (Levin, 2000: 20).

Sin embargo, nos encontramos con una amplísima literatura que muestra que la competencia desempeña un papel menor en la evolución y que, por el contrario, el mutualismo explica el crecimiento constante de la biodiversidad. Si dominara la competencia, se produciría una fuerte dinámica de reducción de especies y se evolucionaría hacia ecosistemas más simples y especializados, lo que les convertiría en inestables y sufrirían un alto riesgo de extinción. El hecho de que la biodiversidad aumente indica que el mecanismo de selección es "débil en el mejor de los casos" (Levin, 2000: 185) o imperfecto. Para muchos autores (Hutchinson, Sousa, Shorroks, Den Boer, Rosenzweig, Hubbell, etc.) "el mantenimiento de la diversidad se cree que es debido principalmente a un proceso pasivo, como consecuencia de la imperfección de los principales reductores de la diversidad, tales como la selección y la competición" (Rammel y Staudinger, 2002). Abundan los factores limitadores de los comportamientos negativos.

Para que la competencia dé lugar a la reducción de especies, son necesarias unas condiciones que no son frecuentes: que el número de especies involucradas no sea suficientemente grande, que las habilidades competitivas no sean parecidas y que el ecosistema permanezca estable durante el tiempo suficiente para que se produzca la exclusión de especies (Rammel y Staudinger, 2002). Las interacciones negativas suponen un riesgo para las especies

depredadoras o parasitarias. Por ejemplo, si como consecuencia de éstas las especies depredadas o parasitadas se extinguen o su población se reduce drásticamente, las especies responsables se arriesgan a sufrir el mismo proceso. Por el contrario, una especie depredadora suele tener efectos beneficiosos sobre la especie depredada, fenómeno que se denomina "retroalimentación por recompensa". Ésta puede adoptar diferentes formas. Los carnívoros limitan las poblaciones de los herbívoros de forma que no sobrepasen los recursos disponibles. Está demostrado que frecuentemente los herbívoros estimulan el crecimiento de las plantas de las que se nutren y aumentan la diversidad al controlar las especies dominantes (Odum y Sarmiento, 1997). Para Nielsen (2007: 10) estos comportamientos constituyen una norma general de comportamiento: "Los ecosistemas parecen capaces de convertir lo que vemos como mecanismos de interacción negativos (tales como la depredación y competencia) y cambiarlos en tipos de interacción que son, en general, positivos y benéficos para el sistema como un todo. Esto se llama utilidad (positiva) cualitativa".

Pero existen otras estrategias de supervivencia. Con frecuencia, las especies logran evitar la competencia mediante la explotación de nichos diferentes. También es frecuente que sobrevivan especies (aparentemente débiles) mediante el camuflaje: "Muchas especies han sobrevivido en el transcurso de las edades ecológicas por medios más sutiles, como camuflaje y cooperación" (Odum y Sarmiento, 1997: 235). Ninguna especie existe en solitario. Las especies se agrupan para poder realizar sus procesos vitales con cierta autonomía, lo que les permite defenderse de los colapsos de otros grupos y, en última instancia, de los cambios en el medio: "Las fuerzas evolutivas tienen que operar para producir ciertos lazos", como "los mutualismos y otras relaciones estrechas entre pequeños grupos de especies [que] evolucionan para proveer a los participantes de protección frente a las variaciones del medio" (Levin, 2000: 192, 193).

Así que, debido a la organización modular, a la retroalimentación por recompensa, a la imperfección y debilidad de los mecanismos de selección, a la existencia de mecanismos sutiles de supervivencia y, en resumen, a "la tendencia a disminuir con el tiempo la intensidad de interacciones negativas [...] no es generalizar demasiado el decir que las cadenas alimentarias en conjunto son mutualistas" (Odum y Sarmiento, 1997: 205).

El dominio de la competencia sobre la cooperación es una de las principales causas de la insostenibilidad de los SSE. Para la ortodoxia económica la "libre competencia" constituye el único mecanismo capaz de lograr una economía eficiente y la eficiencia significa "minimización de costes, dotaciones de factores y exclusión de los agentes *débiles*" (Rammel y van den Bergh, 2003).

Además, esta concepción descansa en la premisa de que la actuación eficiente de cada agente da lugar a una mejora del sistema económico. Nos encontramos, una vez más, con un pensamiento lineal, no sistémico. Se obvia que la persecución por parte de las empresas de la mejora de la eficiencia (entendida como acabamos de indicar) da lugar a ineficiencias sistémicas. El mecanismo más empleado es la sistemática reducción de costes y, en especial, de la plantilla. Ello conlleva altas tasas de desempleo estructural. Keynes criticó la ineficiencia sistémica que suponían las altas tasas de paro. La Comisión Europea constata que "cada vez está más aceptado que el actual modelo de desarrollo socioeconómico tiende a la infrautilización de la mano de obra" (1997: 26). Suele ocurrir que lo que ahorran las empresas lo tiene que pagar la sociedad en forma de subsidios de desempleo. En el caso de que la competencia dé lugar a crisis de empresas de entidad, los gobiernos invierten en *reflotarlas*. Y esta política alcanza su cénit en las crisis recurrentes que sufre el sistema de economía de mercado. En la crisis de 2008-2009 los gobiernos regalaron billones de dólares a los bancos y a las principales empresas, lo cual supone una vulneración fragante de los principios del libre mercado. Si a ello se unen los impactos ambientales y el agotamiento de recursos naturales esenciales, se llega a la conclusión de que el sistema de economía de mercado presenta una alta ineficiencia.

Pero no se trata solo de hacer un balance de la eficiencia en un punto en el tiempo. Es necesario, también, analizar la eficiencia dinámica, es decir, la capacidad de mantener la identidad de un sistema frente a los impactos del entorno y, en este caso, hay que añadir la capacidad de evitar los procesos autodestructivos. El hecho de que históricamente haya sufrido crisis periódicas desde su nacimiento muestra que éste es un rasgo estructural del sistema, tal como demostró Marx. Por el contrario, la eficiencia dinámica, la capacidad de preservar su identidad, supone "mantener el potencial más alto de desarrollo futuro del sistema". Y ello determina, como mínimo, un alto grado de diversidad, una alta cooperación y un alto estándar de "competencia sistémica". Entendiendo por competencia sistémica "la integración de los intereses individuales en una estructura sistémica mutuamente estimulante que es adecuada para un determinado propósito", lo cual "implica la superioridad del punto de vista sistémico sin renunciar a los intereses individuales" (Schütz, 1999: 26-28).

DIVERSIDAD: La naturaleza ha venido incrementando su diversidad a lo largo de unos 4.000 millones de años, a pesar de las cinco grandes extinciones que ha sufrido. La biodiversidad refuerza la estabilidad de los ecosistemas: "La existencia de diversidad puede ser vista como una estrategia de supervivencia a largo plazo,

debido a los cambios permanentes de las condiciones del entorno" (Ring, 1997: 242). Una gran biodiversidad da lugar a un alto grado de redundancia, la cual aumenta la estabilidad. La redundancia en un ecosistema se explica por: a) razones de eficiencia, al ser capaz de usar completamente los recursos disponibles; b) prevenir la fragilidad del sistema; c) preservar su capacidad de respuesta y creatividad; d) preservar su fiabilidad. Los ecosistemas aumentan su eficiencia en el uso de un recurso cuando son muchas las especies que lo utilizan. También mejora su resiliencia (capacidad de los ecosistemas para recuperarse de los colapsos sin perder su identidad), entre otras razones, porque especies que no realizan funciones básicas, y por lo tanto, son aparentemente prescindibles, se suelen convertir en fundamentales cuando los ecosistemas sufren colapsos. Por lo que "la redundancia funcional representa una reserva de respuestas de adaptación y refuerza el potencial evolutivo" (Rammel y van den Bergh, 2003). Rammel y Staudinger (2004: 14) amplían esta idea: "Se puede declarar que un ecosistema resiliente contiene una gran variedad de grupos funcionales, de especies realizando funciones similares y respondiendo de forma diferente a la alteración de las condiciones".

Una vez más, los SSE se comportan en este campo de forma diametralmente opuesta a los ecosistemas: "La diversidad es el punto donde los dos tipos de sistemas (el natural y el SSE) tienden a moverse en direcciones opuestas" (Nielsen, 2007: 15). Este comportamiento se manifiesta en dos planos. En relación con el entorno natural "estamos disminuyendo la resiliencia de los sistemas naturales al reducir simultáneamente la variedad de especies y sometiéndoles a una presión sin precedentes" (MEAB, 2006*a*: 18).

Por otro lado, aunque el sistema económico crea continuamente nuevas tecnologías y productos, el sistema tiende a la uniformización. La globalización supone la creación de estructuras productivas mundiales y de sistemas tecnológicos universales. La competencia frontal da lugar a una creciente especialización y uniformización, "y por ello a una reducción de la diversidad en muchos campos, incluyendo la biodiversidad, la diversidad étnica, cultural, de lenguas, tecnológica, de gustos, preferencias y valores" (Joung *et al.*, 2006: 311). El mercado selecciona las tecnologías que maximizan la producción y no tiene en cuenta las consecuencias futuras. Por ejemplo, ha seleccionado tecnologías para incrementar la producción de alimentos, pero éstas "han reducido la capacidad de la tierra y de los sistemas de provisión de agua para proveer de alimentos en el futuro" (MEAB, 2006*c*: 62). Hoy solo se utilizan unas 150 variedades de cultivos, frente a las 7.000-10.000 que se cultivaban antiguamente, lo cual ha producido, según la FAO, que se haya perdido el 75% de la variedad

genética. Este hecho y la erosión de la cohesión social merecen especial atención, porque son los pilares sobre los que descansan las sociedades a largo plazo (Schütz, 1999: 25, 26). La mayor parte de la innovación se realiza preferentemente sobre las trayectorias tecnológicas existentes (*path dependency*) y, por ello, es incremental: "Las actividades innovadoras se dirigen cada vez más hacia las trayectorias corrientes dominadas por la eficiencia económica, optimización a corto plazo e incremento del beneficio" (Rammel y Staudinger, 2004: 16).

Por ello, la dinámica librecambista reduce la capacidad para aprovechar los recursos humanos y naturales de los entornos locales y su potencial innovador. Y cuanto menor es la diversidad, más pequeño es el potencial para responder a las perturbaciones y para crear combinaciones innovadoras. Así que un mercado liberalizado se muestra incapaz "de proveer de suficientes procesos de adaptación que serán necesarios para impulsar a largo plazo un desarrollo sostenible" (Rammel y Staudinger, 2004: 15). Lo cual generará una "inestabilidad aguda en la naturaleza y en el sistema político-económico mundial" (Matutinovic, 2001: 252).

Por el contrario, en los SSE "la diversidad debe ser interpretada como la existencia de diversos y viables modelos de autoorganización con distintos subsistemas de conocimiento coordinados" (Schütz, 1999: 25). Muchos autores (Low *et al.*, 2003; Rammel *et al.*, 2004; Folke *et al.*, 2005; Joung *et al.*, 2006) defienden, también, los sistemas de gobiernos policéntricos, existentes en múltiples escalas, con importantes grados de autonomía y con ciertos grados de solapamientos funcionales. En resumen, la diversidad tiene amplias ventajas: "provee coherencia e integridad sistémica, potencia de adaptación al ambiente cambiante, evita la competencia descarnada, aumenta la eficiencia general en el uso de materiales y energía y provee de un amplio abanico de respuestas ante nuevas presiones selectivas" (Matutinovic, 2001: 252).

Los European Environment and Sustainable Development Advisory Councils (EEAC), organismos que ayudan a definir las Estrategias de Desarrollo Sostenible de los Estados y regiones europeas, proponen a la UE una organización en la que tenga cabida una amplia diversidad: "Para que Europa cambie hacia el desarrollo sostenible a largo plazo se deberá producir una recalibración de las relaciones entre las estructuras de responsabilidades y actuaciones en los niveles internacional, nacional y subnacional. Este proceso necesita la reevaluación del equilibrio actual entre la necesidad de estructuras multilaterales de guía de las políticas, las finanzas, la elaboración de políticas y presupuestos a escala nacional, y la autonomía y flexibilidad a nivel local. Esto significa que las organizaciones territoriales más bajas se conviertan en laboratorios de demostración de formas de valores sociales

y de nuevos modelos reproducción y consumo sostenibles que deben ser aplicadas a todos lo niveles" (EEAC, 2008: 6).

JERARQUÍA: El desarrollo exitoso de un sistema viene determinado por dos aspectos complementarios: una creciente diferenciación y diversidad, y su integración en una estructura jerárquica cada vez más compleja (Schutz, 1999*b*: 108-109). La jerarquía natural es escalar, autoorganizada, embebida, incluyente y compleja. Cada subsistema natural está sometido a la jerarquía del sistema del que forma parte y somete a las partes que lo forman. Sin embargo, "esta subordinación entre niveles es siempre incompleta y cada nivel tiene sus propias normas de comportamiento y sus propias relaciones" (Gowdy, 1999: 67). A veces el control es tan difuso que "resulta difícil definir quién controla a quién" (Nielsen, 2006: 11). Aparentemente la especie depredadora controla a la depredada, pero a su vez se ve determinada por la disponibilidad de presas. Pero esta jerarquía no se limita exclusivamente a las especies de un ecosistema. La dinámica poblacional de unas especies no solo viene determinada por el comportamiento de otras especies locales, sino que también, y a veces de forma muy fuerte, por la de los procesos regionales.

La jerarquía natural es embebida porque está determinada por la estructura escalar, es decir, por su dependencia del sistema que lo contiene y, a su vez, por el control que ejerce sobre los subsistemas que lo conforman. La jerarquía de los niveles más altos se explica porque establece condiciones limitantes sobre la conducta de los niveles inferiores. El comportamiento de una célula está influido por los acontecimientos que le ocurren al organismo que la contiene. La jerarquía natural no es excluyente. En los ecosistemas cada especie realiza una función útil para la pervivencia de los mismos. También dentro de un ecosistema existe una jerarquía de especies porque no todas las funciones tienen igual importancia. Hay algunas que realizan funciones críticas para la supervivencia de los ecosistemas. Constituyen el vértice de la pirámide jerárquica y se les suele llamar especies claves o funcionales. Rara vez una sola especie realiza una función crítica, lo normal es que sean grupos de especies, grupos claves o funcionales. Un ecosistema puede tener varios grupos funcionales de importancia diferente. También varía la importancia de las especies que componen cada grupo funcional. Pero la jerarquía cambia. Especies que no realizan funciones importantes en un ecosistema maduro, realizan funciones vitales en un ecosistema colapsado. Por ejemplo, las plantas pioneras preservan el suelo de la erosión (Levin, 2000: 10, 11).

Por todo ello, el desarrollo exitoso de un ecosistema viene determinado por dos aspectos complementarios: una creciente diferenciación y diversidad,

y su integración en una estructura jerárquica crecientemente compleja. Estas características les confieren una gran estabilidad, porque les da capacidad para mantener sus funciones frente a procesos disruptivos (sequías, fuegos, plagas, etc.) (Levin, 2000: 14, 15).

Los SSE también se organizan jerárquicamente, pero "hay diferencias cualitativas y cuantitativas enormes" entre ellos y los sistemas naturales (Nielsen, 2006: 14). De forma sintética se puede decir que la diferencia principal es que, mientras que las jerarquías naturales son predominantemente de tipo escalar, las de los SSE son del tipo de jerarquía de control. En los SSE hay muchos menos niveles que en los sistemas naturales, siendo casos extremos de este hecho las dictaduras y los monopolios. Las jerarquías tampoco son autoorganizadas, ni embebidas, y son excluyentes (Nielsen, 2006: 14). La jerarquía no está embebida porque no está predeterminada por la estructura del sistema, sino por la estructura de toma de decisiones (el nivel de democracia existente, los canales de comunicación y de participación, la existencia de grupos de poder al margen de cualquier representación política, etc.). Es excluyente porque el poder está altamente centralizado, por lo que muy pocos individuos ejercen realmente el control. Hoy en día las decisiones políticas, sociales y económicas se toman "a escalas dominadas por unos pocos, pero poderosos, actores", por lo que muchas instituciones sociales han sido eliminadas o debilitadas, "dejando a muchas unidades pequeñas conectadas directamente a los actores planetarios, sin la protección de las unidades intermedias" (Joung *et al.*, 2006: 310). Esta estructura jerárquica hace a los SSE particularmente vulnerables y, por ello, muy proclives a colapsar. Las elites se resisten a los cambios porque cuestionan las estructuras de poder.

DESCENTRALIZACIÓN/AUTOSUFICIENCIA: A medida que los ecosistemas evolucionan, se van volviendo más autosuficientes, reduciendo su dependencia de fuerzas fuera de su control. Odum (1992: 15) afirma que "*autosustentado* y *automantenido* son las palabras clave que caracterizan el paisaje natural". Los ecosistemas tienen límites naturales debido al cambio de las condiciones ambientales o de la autoorganización del sistema mismo (por ejemplo, la estructura de los bosques, que se asemeja a un mosaico). Los límites espaciales favorecen el incremento de la eficiencia interna del sistema y representan la existencia de límites naturales al crecimiento (Ring, 1997: 242).

El sistema económico globalizado diverge radicalmente del modelo natural autocentrado. El mercado globalizado elimina las distinciones espaciales,

produce un enorme flujo de recursos de países pobres a ricos, dando la falsa sensación de que los recursos son ilimitados, y no se preocupa de su uso eficiente. El hecho de que los recursos se vayan agotando y que la extracción de los mismos dé lugar a enormes impactos ambientales, con la consecuente destrucción de ecosistemas y pérdida de sus servicios, es desconocido para la mayor parte de los consumidores de estos recursos. Por el contrario, cuando una comunidad utiliza sus propios recursos, tiende a preocuparse por su agotamiento y por el impacto ambiental de su extracción/recolección. Una economía descentralizada satisface las necesidades vitales de la población de forma más eficiente y democrática que otra centralizada. El Informe Brundtland establece que la integración de los objetivos económicos y ecológicos se realiza mejor "descentralizando el control de los recursos de los que dependen las comunidades locales y otorgando a dichas comunidades de modo efectivo el derecho de voz y voto sobre la utilización de esos recursos" (CMMAD, 1988: 90). Un modelo descentralizado que se base en la utilización de recursos y tecnologías locales resulta más adecuado para la satisfacción de las necesidades vitales, como son la alimentación, vivienda, sanidad, energía, etc., y es más estable frente a los cambios del sistema económico planetario. La descentralización hace posible la creación de múltiples sistemas sociales adaptados a las condiciones de su entorno mediante: el desarrollo de modelos organizativos e instituciones adaptados a las características locales; de tecnologías locales o de tecnologías planetarias adaptadas a la utilización de los recursos locales; la acumulación de experiencia de utilización sostenible de los recursos locales, etc. (Gallopin, 2002; Folke *et al.*, 2005). solo una economía descentralizada es capaz de lograr una economía cíclica de materiales. La energía solar es descentralizada y vivir de ella supone dejar de depender de unos pocos países que tienen la mayor parte de los combustibles fósiles que se están agotando (Joung *et al.*, 2006: 310).

Numerosos pensadores económicos se muestran partidarios de la autosuficiencia. Keynes lo refleja, por ejemplo, en su artículo "Autosuficiencia Nacional": "Simpatizo más, por tanto, con aquellos que minimizan las relaciones internacionales. Las ideas, el conocimiento, el arte, la hospitalidad, los viajes, son las cosas que deberían ser internacionales por su propia naturaleza. Pero dejemos que los bienes sean nacionales cuando esto resulte razonable y adecuadamente posible; y, por encima de todo, dejemos que primordialmente las finanzas sean nacionales" (Daly, 1989). El Principio 9 de la Declaración de Río dice que "los Estados deberían cooperar para reforzar la creación de capacidades endógenas para el logro del desarrollo sostenible" (CMMADS, 1992). La Carta de Aalborg, que es el documento programático del movimiento de las Agendas 21 Locales, reivindica

la autonomía municipal: "Nosotras, ciudades, estamos convencidas de que tenemos la fuerza, el conocimiento y el potencial creativo necesarios para desarrollar modos de vida sostenibles y para gestionar nuestras colectividades en la perspectiva de un desarrollo sostenible" (ICLEI/Conferencia Europea de Ciudades Sostenibles, 1994). El movimiento de sociedades en emergencia energética que analizaremos en este manual supone un salto cualitativo en esta dirección, motivado por la crisis energética que se está desarrollando.

4. TRASFORMACIONES EPISTEMOLÓGICAS QUE PROVOCA LA ADOPCIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE ECONOMÍA SOSTENIBLE

Los fisiócratas eran muy conscientes de que había que preservar los recursos naturales, porque era el prerrequisito ineludible para la pervivencia de las sociedades. Los economistas clásicos (Adam Smith, Malthus, Ricardo, Marx, etc.) retuvieron elementos del pensamiento fisiocrático. Sabían que era imposible que la economía creciera ilimitadamente porque los recursos naturales son finitos. Todos ellos consideraban que las bases de la riqueza eran los recursos naturales (la "tierra") y el trabajo, que transformaba los recursos en bienes, aunque la productividad de éste era mejorada por el aporte de capitales. Así que su reflexión era macroeconómica, se ocupaban de la economía general de las naciones (Gowdy, 2006; Hall y Klitgaard, 2006).

Esta visión fue arrinconada por la llamada revolución neoclásica o marginalista, iniciada en la década de los setenta del siglo XIX, por otra centrada en el análisis microeconómico (la empresa en su mercado) y en la que se destierra cualquier limitación de los recursos naturales. Y la fecha indicada no es una casualidad, porque la economía se basaba en el carbón (que era abundante en la época) y el petróleo comenzaba a ser introducido y, por tanto, todas sus enormes reservas estaban disponibles. Por otro lado, el enfoque microeconómico llega por agregación a una situación en la que el sistema económico general alcanza un "equilibrio general", en virtud del juego de las fuerzas que actúan en un mercado libre. En este contexto el nuevo motor de la economía pasa a ser la "tecnología", una abstracción que suele tener poco que ver con la realidad física de la producción (Gowdy, 2006).

Al situarse la economía neoclásica en la "torre de marfil" del universo monetario, se constituye objetivamente en un campo autónomo del saber no condicionado por otras ciencias. La hegemonía de la economía neoclásica y, en última instancia, la creencia en el crecimiento perpetuo, ha sido posible por la existencia de unos enormes recursos de energía fósil. Pero tales recursos han

entrado en un claro proceso de agotamiento (al igual que muchos minerales estratégicos), aparte de que su uso provoca impactos ambientales tan graves como el cambio climático. Además, se muestra incapaz de resolver problemas tan acuciantes como la polarización de la riqueza y el hambre. Todo ello está llevando a un proceso de debilitamiento de la economía neoclásica, y una muestra es el hecho de que la gran mayoría de los Premios Nobel de Economía dados desde 1998 recaen en economistas críticos del pensamiento neoclásico.

Así que la economía neoclásica debe dar paso a otra que cumpla con los principios de sostenibilidad. Lo cual supone la necesidad de una revolución epistemológica, y no solo para la escuela neoclásica, sino también para las escuelas herederas de los economistas clásicos, como la keynesiana o marxista. Deberán cambiar, también, las herramientas de análisis, las relaciones con otras ciencias, etc. En este contexto adquieren especial relevancia los llamamientos a romper el aislamiento de la economía neoclásica del resto de las ciencias que hemos comentado; no se trata solo de dejar de ignorarlas, sino de que algunas de ellas determinen el comportamiento de la economía. Y, entre todas las ciencias de la Tierra, la ecología debe desempeñar un papel central, ya que es una superciencia o ciencia unificada: "la ciencia de síntesis, esencial para nuestro conocimiento de la estructura y función de la biosfera" (Goldsmith, 1996: 3). Sin negar la validez de tal propuesta, conviene destacar aquí el papel determinante que en esta etapa histórica está empezando a desempeñar la geología y, en especial, en el caso de los combustibles fósiles y de los materiales estratégicos. Su importancia será muy grande hasta que los primeros dejen de contribuir de forma decisiva al funcionamiento de la economía y los segundos se utilicen de forma circular. Así que la sostenibilidad obliga a la economía a adoptar un enfoque transdisciplinar y, lo que es más importante, a desempeñar un papel subordinado con respecto a las ciencias de la Tierra y, por ello, a rebajar su actual estatus dentro de las ciencias.

La revolución epistemológica supone, también, prescindir de las visiones distorsionadas de conceptos centrales como los de producción, desarrollo, riqueza, etc. Por producción se entiende el aumento de la riqueza monetaria y se le atribuye un carácter totalmente positivo, independientemente del agotamiento de recursos naturales que causa y de los impactos ambientales y frecuentemente sociales que causa. Además, no solo se aplica a la producción de bienes, sino también a la extracción de recursos naturales, como el petróleo o el gas, lo cual es erróneo: no se produce, sino que se extrae. El concepto de desarrollo se empezó a utilizar en el siglo XVIII en biología para indicar la evolución de los individuos jóvenes hacia la fase adulta. Después se ha aplicado en

múltiples campos y, a partir de la Segunda Guerra Mundial, fue adoptado por la economía para indicar el modelo de crecimiento económico de los países industrializados que, además, integra una idea ambigua de justicia social. Así que se define como países desarrollados los más industrializados y los países más o menos pobres como "países en vías de desarrollo" para indicar que están en escalones más bajos en el proceso de industrialización. El parámetro de medición de unos y otros es la renta per cápita, por lo que se descarta cualquier otra opción que, sin alcanzar una renta per cápita tan alta, sea capaz de satisfacer las necesidades básicas de toda la población (Naredo, 2006). No se tiene en cuenta otras *riquezas*, como la satisfacción plena de las necesidades, una alta cohesión social, un alto grado de democracia, la conservación del medio ambiente, el disponer de agua y alimentos sanos, la ausencia de contaminación, etc.

La sostenibilidad obliga, también, a la economía neoclásica a sufrir otra revolución epistemológica: utilizar el cálculo físico, además del monetario. El uso de la moneda es imprescindible para organizar la economía de sociedades complejas, pero la valoración monetaria constituye un velo que impide ver la realidad biofísica. Por ejemplo, cuando un recurso escasea, su precio se dispara, por lo que puede darse el caso de que crezca la valoración del mercado del mismo. Por lo que, para poder diseñar una economía sostenible, hay que partir del conocimiento de las dotaciones y ritmos de consumo (y por tanto de agotamiento) de materiales (abióticos y bióticos) y energía (tanto de combustibles fósiles como de energía renovable). Para construir una economía solar, es necesario conocer el potencial de las diversas fuentes de energías renovables y el estado de las tecnologías de captación. Para mantener o mejorar los servicios que nos dan los ecosistemas hay que conocer su estado y evolución. Estos datos los aportan la biología, la ecología, la geología, la física, la química, etc. A partir de ellos la economía física debe estudiar el metabolismo de nuestras sociedades, mediante la contabilidad de flujo de los materiales (energéticos y no energéticos), como medio de definir estrategias para cerrar los flujos de los materiales y vivir de la energía solar.

Por último, la misión de la economía debe ser el logro de la satisfacción universal de las necesidades esenciales en un marco de sostenibilidad. La cual obliga a todos los países cualquiera que sea su nivel de industrialización. La diferencia se da en el punto de partida.

CAPÍTULO 7

TRANSFORMABILIDAD

Este capítulo consta de tres apartados. El primero explica el ciclo adaptativo de los ecosistemas; el segundo analiza la validez de los conceptos útiles para el estudio de los SSE y en el tercero se explica el concepto de transformabilidad y los factores que la determinan.

1. EL CICLO ADAPTATIVO DE LOS ECOSISTEMAS

La evolución de los ecosistemas al sufrir un impacto es interpretada, en general, mediante la teoría del ciclo adaptativo. Su estudio nos permitirá obtener herramientas de análisis de los cambios en los SSE. Lo explicaremos basándonos en el concepto de resiliencia y, más concretamente, de los factores de potencial y conectividad. Posteriormente describiremos la importancia que tiene en el ciclo adaptativo un tercer factor: la panarquía.

Normalmente se entiende por resiliencia "la capacidad de un sistema para retener esencialmente las mismas funciones, retroalimentaciones y, por ello, su identidad cuando experimenta impactos" (Walker *et al.*, 2006). Los tres factores indicados sirven para inferir el grado de resiliencia de un sistema natural. El potencial refleja la riqueza de un ecosistema y depende de su cantidad de biomasa, de sus nutrientes y de su estructura física. La biodiversidad supone

una alta redundancia de especies y agrupaciones de especies fundamentales: "La biodiversidad contribuye a la resiliencia del funcionamiento de los ecosistemas [...] La adecuada persistencia de las funciones de un ecosistema depende de que tenga todos los grupos funcionales necesarios" (Holling *et al.*, 2002*b*).

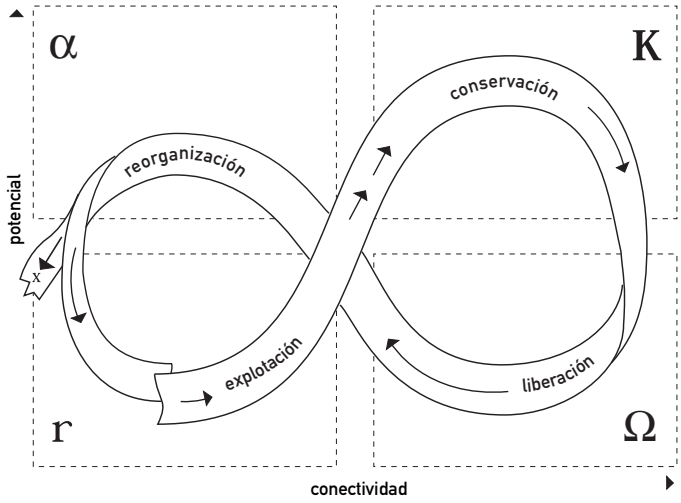
La conectividad está determinada por la cantidad y fortaleza de las conexiones interiores de un sistema y explica si éste controla su destino o, por el contrario, está a merced de agentes exteriores. Una conectividad baja muestra una escasa capacidad de autocontrol. Esta capacidad mejora con el aumento de la conectividad, pero una excesiva es síntoma de rigidez. Si la cantidad y fortaleza de las conexiones crece, alcanzará un umbral a partir del cual el sistema aumenta su rigidez, perdiendo la flexibilidad necesaria para adaptase al medio y aumentando su vulnerabilidad, lo cual le lleva al colapso. Cuando los elementos de un sistema están fuertemente conectados cualquier desajuste interno se propaga rápidamente a través de todo el sistema. Hay, por tanto, un umbral de conectividad óptima, que se suele definir como la "ventana de viabilidad". Pero, cuanto mayor es el número de especies en un sistema, menos conectadas deben estar para mantenerse dentro de la ventana de viabilidad (Matutinovic, 2002). La existencia de un umbral a partir del cual cambia la calidad de la conectividad hace difícil evaluar el grado adecuado de conectividad.

El ciclo adaptativo se suele explicar a partir de las variaciones del potencial y de la conectividad. Consta de cuatro fases, tal como se muestra en el gráfico 1. La primera, la de *liberación* o *destrucción creativa* (fase omega), supone que un ecosistema sufre un colapso porque el impacto recibido (provocado por agentes disruptores externos: sequía, fuego, plagas, etc.) supera su capacidad de adaptación y colapsa; se produce entonces una reducción del grado de conectividad, lo que debilita sus mecanismos de autorregulación y aumenta la posibilidad de renovación (reorganización). El potencial se reduce, al perder gran parte de la biomasa. Aunque puede perder algunas especies, el problema principal es una drástica reducción de la población de muchas especies. Por ejemplo, después de incendiarse un bosque, permanecen muy pocos árboles adultos, pero puede que queden muchos plantones y, sobre todo, semillas. La pérdida de conectividad y de potencial determina la disminución de la resiliencia, lo cual supone que el ecosistema ha perdido su capacidad de autocontrol (de los procesos de retroalimentación que le permitían mantenerse estable). En la fase alfa el ecosistema se reestructura, lo que permitirá el posterior crecimiento y acumulación de recursos. Permanecen la mayor parte de las especies previamente existentes y la fuerte reducción de la conectividad permite la incorporación de especies exteriores. Entre ellas se producen nuevas asociaciones,

y la reorganización puede que no se haga de forma exactamente igual al pasado. Estas fases son muy rápidas (Holling, 2009).

GRÁFICO 1

EL CICLO AUTOADAPTATIVO



FUENTE: HOLLING, C.S. Y GUNDERSON, L. H., 2002: 34.

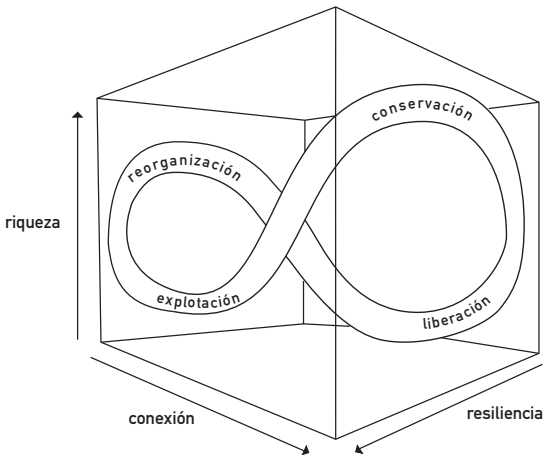
La tercera fase es la de *explotación* (fase r), caracterizada por una rápida colonización de las áreas degradadas. Se activan los bancos de semillas almacenados en el pasado; las especies pioneras, cuya población era muy reducida por falta de insolación, se empiezan a desarrollar aceleradamente ocupando el espacio que ha quedado libre. La vegetación que queda constituye una especie de templete que permite que germinen las semillas almacenadas y las provenientes del exterior. La pérdida de nutrientes tiende a disminuir a medida que avanza la fase. El grado de conectividad empieza a crecer. En esta fase se da con frecuencia el grado mayor de biodiversidad. Pero en la transición hacia la siguiente suele disminuir, debido a que una competencia intensa entre las especies pioneras por el territorio y la captación de energía solar. Ésta no puede ser ya compensada con la entrada de nuevas especies exóticas, porque la conectividad ha alcanzado un nivel suficiente como para impedir que prosperen. La cuarta y última fase es la de *conservación* (fase K), en la que se produce una lenta acumulación de materiales y energía. Las especies crean agrupaciones cooperativas, que suelen ser vitales para su supervivencia. La evolución de los sistemas

resulta cada vez más predecible. Se fortalece su control interno y sobre variables exteriores (por ejemplo, creando microclimas). El potencial y la conectividad alcanzan la cota más alta. El sistema adquiere la más alta eficiencia en el uso de materiales y energía. Estas dos fases son lentas (Holling, 2009).

Hasta aquí hemos utilizado el diagrama bidimensional del ciclo adaptativo, pero es necesario completarlo con la tercera dimensión: la resiliencia. El gráfico 2 nos permite comprender las variaciones que sufre a lo lago del ciclo adaptativo. Vemos que las fases de explotación y conservación constituyen la parte frontal del ciclo, mientras que las otras dos forman la parte posterior. Como la resiliencia es mayor en la parte frontal, las fases de explotación y conservación son las de mayor resiliencia. Por el contrario, la fase de liberación es la de menor resiliencia y esta mejora un poco en la fase de reorganización.

GRÁFICO 2

CICLO ADAPTATIVO TRIDIMENSIONAL



FUENTE: MEARNS (2010).

A pesar de que esta teoría explica el comportamiento más típico de los ecosistemas, existen casos en los que no se produce la sucesión estándar de las fases, así que no se puede usar como un instrumento de predicción, sino de explicación del cambio en la mayor parte de los casos (Abel *et al.*, 2006). Además, estas fases todavía no se comprenden bien, especialmente las de crecimiento (r) y la de conservación (K) (Walter *et al.*, 2006).

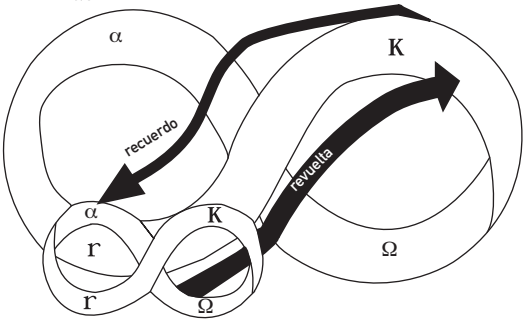
Así que mediante el ciclo adaptativo un ecosistema muestra que es sostenible, los ciclos se repiten y mantiene su "capacidad de crear, testar y mantener el

potencial adaptativo" (Holling *et al.*, 2002*b*: 403). Estos autores, junto con Walter y otros, nos dan una visión de la resiliencia (y, por ello, del ciclo adaptativo) centrada en el aspecto conservacionista: un ecosistema mantiene su identidad mediante el ciclo adaptativo. Pero otros autores enfatizan su dimensión de cambio, de un proceso de renovación y revitalización, aspecto que ha suscitado menos atención. Folke (2006) entiende la resiliencia como "capacidad de renovación, reorganización y de desarrollo", y considera que estos aspectos son "poco analizados, pero esenciales para el discurso de la sostenibilidad".

La panarquía es un concepto nuevo que pretende reflejar la interacción en la jerarquía de sistemas, por lo que el ciclo adaptativo solo se puede entender en el contexto de la interacción. El término proviene de Pan (dios de la naturaleza de la antigua Grecia) y de jerarquía. Explica que un sistema de referencia está sometido a la influencia del sistema superior del que forma parte y de los sistemas inferiores que lo conforman, generándose procesos de retroalimentación entre los diferentes niveles de estructuración, tal como muestra el gráfico 3. Cuanto más grandes son los ecosistemas más lentos son los ritmos de cambio, y con los pequeños sucede lo contrario. Los sistemas mayores contribuyen a mejorar la resiliencia de los menores, aumentando su capacidad de recuperarse de los colapsos, porque aportan "memoria", como legados bióticos, bancos de semillas y estructuras. Por el contrario, los pequeños aportan novedad, porque sus cambios son mucho más rápidos. Esta función se conoce como "revuelta". Así que nos encontramos con una combinación de fuerzas que logran un equilibrio dinámico de los sistemas que les permite adaptarse a los cambios del entorno: "Persistencia y extinción, crecimiento y constancia, evolución y colapso se entrelazan para formar en una panarquía de ciclos adaptativos a través de las escalas" (Holling, 2009).

GRÁFICO 3

PANARQUÍA



FUENTE: *RESILIENCE ALLIANCE: KEY CONCEPTS.*

2. APLICABILIDAD A LOS SISTEMAS SOCIOECONÓMICOS DE LOS CONCEPTOS Y FACTORES DEL CICLO ADAPTATIVO NATURAL

2.1. LA UTILIDAD DEL CICLO ADAPTATIVO PARA LOS SISTEMAS SOCIOECONÓMICOS

La metáfora del ciclo adaptativo es una herramienta útil para comprender la mecánica de los cambios de los SSE, porque todos los SCA manifiestan umbrales que llevan al colapso[1] y las fases del ciclo adaptativo constituyen una secuencia lógica de reorganización y superación en sistemas que son sostenibles. Una vez que los SSE alcancen la sostenibilidad, el ciclo adaptativo explicará su dinámica evolutiva, adaptándose a las condiciones cambiantes del medio. Abel *et al.* (2006) afirman que "el ciclo adaptativo, que forma parte de la teoría de los SCA, es útil para conocer el cambio durante las diferentes fases en el comportamiento de los sistemas". Pero tal idea no debe llevar a la creencia de que es posible aplicarlo de una forma mimética. Dos son, al menos, los factores que invalidan la idea. Una general: la inteligencia humana que permite prever los problemas y evitarlos, pero también comportamientos destructivos. Otra específica de muchas civilizaciones complejas, y especialmente de la industrial: la insostenibilidad.

Las sociedades humanas tienden, en general, a aumentar la complejidad, entendida en términos generales en los SSE como "diferenciación en estructura y en comportamiento, y/o en el grado de organización". Y de forma más concreta, supone la creación de nuevas instituciones, añadiendo más especialistas y burocracia a las existentes, aumentando la regulación, la complejidad de las tecnologías, etc. (Tainter, 2005), que pueden provocar que las sociedades se conviertan en insostenibles y colapsen: "El deterioro ambiental es una de las explicaciones más comunes del colapso de las civilizaciones antiguas" (Tainter, 2005). Pero, aunque haya habido civilizaciones que han colapsado por su insostenibilidad, el mundo preindustrial mantuvo una tendencia suave a aumentar la población y el consumo de recursos y fue sostenible. Por el contrario, la industrialización inicia un proceso explosivo de crecimiento de la población que ha sido posible gracias al uso de los combustibles fósiles.

La complejidad se genera históricamente con la intención de resolver problemas. Y una mayor complejidad no tiene por qué ser un factor negativo. Hemos visto en el capítulo anterior que el aumento de la biodiversidad genera ecosistemas más resilientes, pero éstos tienden a estabilizarla en su madurez. Pero los

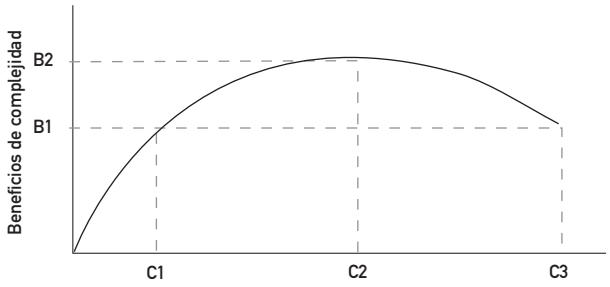
SSE tienden a crecer ilimitadamente. Existe un amplio acuerdo en que la humanidad ha tenido en los 12.000 últimos años "un fuerte crecimiento en población, en habilidades técnicas, en jerarquía, diferenciación y especialización de los roles sociales, en las escalas de integración y en la producción y flujo de información" (Tainter, 2005). El aumento de complejidad supone costes, generalmente en forma de un mayor uso de recursos.

Pero un crecimiento continuo en la complejidad constituye una patología, inexistente en el mundo natural. El gráfico 4 nos muestra que en un sistema que se va haciendo crecientemente complejo, desde un nivel muy bajo, al principio su eficiencia mejora, pero a partir de un umbral la eficiencia se reduce a un ritmo cada vez más rápido. El sistema necesita para funcionar cantidades crecientes de materiales y energía. Esta dinámica es particularmente intensa cuando existe una gran competencia entre diferentes centros de poder. La lucha por la hegemonía lleva a que ninguno de los competidores esté dispuesto a acabar con la competición: "La competición entre poderes políticos semejantes incrementa la complejidad y el consumo de recursos, independientemente de los costes sociales y ecológicos" (Teinter, 1988: 214). Éste es el caso de la isla de Pascua y del Imperio maya, aunque también existen muchos otros de sociedades sostenibles basadas en la cooperación.

Los efectos negativos de una complejidad creciente han provocado históricamente que algunas sociedades hayan reducido su nivel de complejidad para poder subsistir. El Imperio romano de Oriente fue mucho más longevo que el de Occidente, porque decidió simplificar su organización, especialmente dando tierras a los soldados, de forma que éstos producían sus alimentos y protegían el territorio frente a las invasiones. Estudios antropológicos sobre los

GRÁFICO 4

COMPLEJIDAD Y VULNERABILIDAD



FUENTE: MEARNS, 2010.

campesinos y pescadores en régimen de subsistencia en Rusia, Papúa Nueva Guinea, Brasil, etc., muestran la limitación de la producción para evitar los rendimientos decrecientes del trabajo. Pero los rendimientos decrecientes se están manifestando en numerosas áreas de los países industrializados: en el gasto en educación, I+D, salud, etc. (Tainter, 2005).

2.2. EL CONCEPTO DE RESILIENCIA

Existe un consenso generalizado sobre lo que significa el concepto de resiliencia cuando se aplica a los sistemas naturales. Maler (2008) afirma que la resiliencia "determina la perturbación máxima a la que se le puede someter a un sistema sin forzarle a cambiar a otro régimen". Walker (2005: 82) mantiene la misma idea general de resiliencia, aunque la precisa más, al afirmar que por ella se entiende "la capacidad de un sistema para absorber impactos y reorganizarse mientras sufre cambios, pero de forma que aún mantiene esencialmente la misma función, estructura, identidad y retroalimentaciones". Tales definiciones coinciden con otras citadas en el apartado anterior y todos los autores mantienen la idea de que es un concepto positivo: cuanto más resiliente sea un sistema mayor será su capacidad para mantener su identidad.

Cuando se aplica el concepto a los SSE desaparece el consenso, y se complica enormemente cuando se aplica a ciencias muy diversas. Entre los estudiosos de la sostenibilidad de los SSE nos encontramos con expresiones de resiliencia que se escapan del consenso anterior. Folke (2006: 259, 269-270) afirma que "la resiliencia no siempre es una buena cosa. Puede resultar muy difícil transformar un sistema resiliente". Walker *et al.* (2006) afirman que "los sistemas social-ecológicos pueden a veces quedar atrapados en regímenes indeseables y muy resilientes", por lo que para transformarse necesitan de grandes transformaciones internas. En estas interpretaciones la resiliencia deja de ser un concepto siempre positivo, porque puede llegar a ser negativa (el sistema se vuelve rígido). El problema se complica cuando el concepto es usado por muchas ciencias sociales, como la economía, la política o la sociología, y lo utilizan en la planificación, para definir sostenibilidad fuerte, en el análisis de la globalización, en la llamada gestión o gobierno adaptativo, en la ayuda internacional, etc. En cada una de estas aplicaciones su significado cambia. Así que el concepto "queda diluido y no claro", y deja de ser operativo (Brand y Jax, 2007).

En un intento de superar esta situación, algunos autores definen dos tipos de resiliencia: la ecológica y la social. La ecológica es la de los sistemas naturales y la social es la que tiene un umbral de cambio de cualidad. Folke (2006: 259)

la define "como la habilidad de las comunidades humanas para soportar impactos exteriores sobre su infraestructura social". Por habilidad hay que entender la capacidad de mantenerla dentro de la ventana de viabilidad, al igual que en el caso de la conectividad. Otros autores acuden a conceptos como "gobierno adaptativo" y "gestión adaptativa" para explicar la resiliencia de los sistemas sociales, que es entendida como "flexibilidad para experimentar y adoptar nuevas soluciones" (Carpenter y Folke, 2006). Estas aplicaciones parten de una premisa: que los SSE pueden alcanzar la sostenibilidad adaptándose sin necesidad de transformarse. Por tanto, es incompatible con la premisa que venimos defendiendo aquí de la insostenibilidad estructural de los SSE y que ha quedado patente en el capítulo 1.

La confusión terminológica (y las visiones dispares sobre el grado de insostenibilidad de los SSE) cuando se aplican al ámbito de los SSE conceptos que sirven para explicar los comportamientos de los sistemas naturales, lleva a numerosos autores a criticar tal transposición mecánica. Anderies *et al.* (2004) consideran que "la resiliencia puede ser difícil de aplicar a sistemas en los que algunos componentes son diseñados conscientemente". Más contundente se muestra Gallopin (2006: 299) cuando afirma que "el concepto de resiliencia no puede ser transferido sin crítica de las ciencias ecológicas a los sistemas sociales", porque no se puede descartar que haya "diferencias esenciales en comportamiento y estructura entre los sistemas sociales y ecológicos". Y añade que son arriesgadas "formulaciones recientes de resiliencia, tales como convertir en propiedades de la resiliencia la capacidad de adaptación y la autoorganización". Por ello Joung, Berkhout, Gallopin, Janssen, Ostrom y van der Leeuw (Joung *et al.*, 2006) defienden el estudio separado de los sistemas biofísicos y sociales: "Es útil primero separar los sistemas biofísicos y social", para después evaluar las diferencias de respuesta.

3. LA TRANSFORMABILIDAD DE LOS SISTEMAS SOCIOECONÓMICOS

Descartado el concepto de resiliencia porque solo tiene sentido en los sistemas sostenibles, es necesario encontrar otro concepto (enfoque) que permita estudiar la dinámica de los SSE en pos de la sostenibilidad. El estudio pertinente es el de la capacidad de transformarse, el de la transformabilidad. Pero este estudio carece de base si no definimos los factores que determinan tal capacidad.

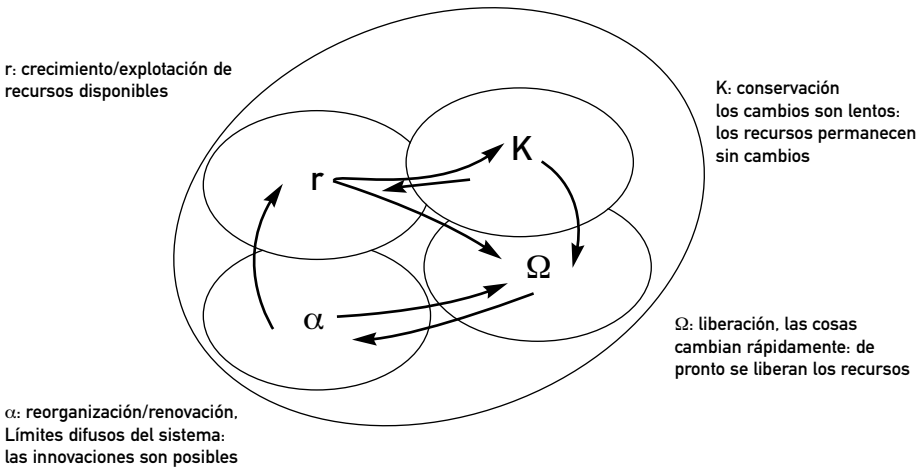
3.1. CONCEPTO DE TRANSFORMABILIDAD

Para Walker, Gunderson, Kinzig, Folke, Carpenter y Schultz (Walker *et al.*, 2006) la transformabilidad "es la capacidad para crear un sistema fundamentalmente distinto cuando el sistema existente es insostenible". De todas formas, llama la atención que los autores anteriores, a pesar de tener el mérito de definir el concepto de transformabilidad en el caso de la sostenibilidad, no hayan profundizado en él (sobre todo, definiendo los factores que al determinan) y no conocemos ningún caso en el que lo hayan aplicado. Los factores que determinan la transformabilidad de un SSE son los mismos que explican la resiliencia (potencial, conectividad y panarquía), pero adaptándolos (cuando es necesario), aunque sin cambiar su significado. Y esto se debe a que los tres factores sirven para explicar las características de cualquier SCA y de sus relaciones jerárquicas.

Las características de cualquier SSE analizadas a la luz de los principios de sostenibilidad determinan la naturaleza y profundidad de la transformación que debe sufrir. El techo del petróleo y otros factores de insostenibilidad no dejan margen temporal para realizar una transformación no traumática. Un colapso más o menos severo constituye un escenario altamente probable. Una vez producido, se abren dos opciones básicas: iniciar la transformación o permanecer colapsado, porque se intenta superarlo sin transformación. El gráfico 5 muestra que el SCA que necesita transformarse y no es capaz de hacerlo, al intentar reorganizarse según las pautas del pasado, no podrá emprender la fase r y vuelve a la fase omega.

GRÁFICO 5

DEL COLAPSO AL CAOS

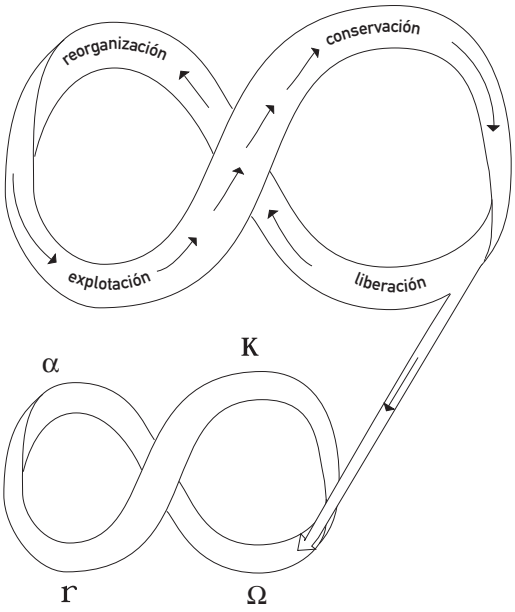


FUENTE: *RESILIENCE ALLIANCE: KEY CONCEPS.*

Por el contrario, la transformación supone que el SSE abandona, después de colapsar, su estructura actual porque no puede realizar el ciclo adaptativo, se reestructura de un modo totalmente nuevo y puede completar las fases de crecimiento y conservación, tal como refleja el gráfico 6. Una vez producida la transformación, el sistema tendrá la capacidad para evolucionar con el (adaptarse al) sistema natural por medio de sucesivos ciclos adaptativos.

GRÁFICO 6

TRANSFORMACIÓN HACIA LA SOSTENIBILIDAD



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GALLOPIN (2002: 38).

Hasta aquí hemos limitado el nivel de análisis a lo que les puede ocurrir a los SSE al aislarlos de la jerarquía que determina el sistema general. Pero si la tenemos en cuenta, nos encontramos con que éste impone a los otros unas estructuras y reglas básicas de funcionamiento. Por ello estamos ante la amenaza de colapso del sistema general, lo cual determina que todos los sistemas individuales se vean afectados, pero en grados diferentes, según sean capaces de realizar transformaciones profundas. Holling (2010) explica esta situación de la forma siguiente: "Pero cuando el colapso ocurre como consecuencia de un largo esfuerzo para congelar el sistema en un paradigma de desarrollo y gestión, entonce el colapso se puede producir al nivel de la panarquía, lo cual amenaza a todos los niveles". Pero no se trata solo de

una amenaza, sino de una realidad. El colapso del sistema financiero mundial en el otoño de 2008 (magnificado por la escalada de precios del petróleo del periodo de 2002-2008) lo demuestra: "Cuando se está sobreconectado, los *shocks* se transmiten rápidamente a lo largo de todo el sistema" (Walker, 2008).

Una vez más, nos encontramos con la confrontación de dos modelos. Uno diseñado para tener éxito en un escenario lineal y alejado de la realidad (el sistema económico crece ilimitadamente sin sufrir colapsos que exijan su transformación), de alta competencia (lo cual obliga a una reducción constante de costes), sin pararse a mirar las repercusiones sociales y ecológicas de tales decisiones o, sobre todo, la capacidad para afrontar colapsos. El otro, diseñado para maximizar la capacidad de afrontar los impactos, lo que determina conservar los recursos y servicios de la naturaleza, fortalecer la cohesión social y crear sistemas productivos diversos y adaptados a las condiciones sociales y ecológicas de sus entornos (Gallopin, 2002).

3.2. FACTORES DE TRANSFORMABILIDAD

Hemos visto la pertinencia y utilidad de la aplicación del concepto de transformabilidad a los SSE y a la realidad actual y que los factores que la determinan son: conectividad, potencial y panarquía. Aunque tales factores son aplicables a cualquier sistema complejo, requieren de matizaciones para poder ser aplicados a los SSE, pero sin cambiarles su significado.

CONECTIVIDAD: Determina el grado con que un sistema controla su destino o, por el contrario, se ve a merced de agentes exteriores. En un sistema natural la conectividad está determinada por la cantidad e intensidad de flujos de materiales y energía, así como por la jerarquía. Cuanto más abundantes y de mayor categoría sean las conexiones más alta será su conectividad, es decir, su capacidad de autocontrol, pero una excesiva capacidad de control genera rigidez y, por tanto, la pérdida de capacidad para adaptarse a las circunstancias cambiantes. Así que existe una ventana de viabilidad. La conectividad de los SSE se diferencia de la natural por su insostenibilidad e inteligencia. Ésta determina la capacidad para cambiar la conectividad, de forma que puede transformarse. El primer factor diferencial obliga a que la conectividad óptima deba ser mucho más baja que la de los sistemas naturales, porque necesita transformarse, no solo adaptarse a los cambios del entorno. Resulta evidente que el SSE general o mundial se caracteriza por:

- Unas interrelaciones entre las diferentes sociedades altamente estructuradas a escala mundial, aunque no se puede hablar de un sistema mundial.

- Una división del trabajo estructurada jerárquicamente entre grupos de Estados que configuran un centro, una semiperiferia y una periferia. El centro está formado por Estados que albergan las actividades económicas más sofisticadas. Los Estados que forman la periferia suministran al centro materias primas o productos elaborados de baja calidad. Los Estados semiperiféricos tienen elementos de los grupos anteriores.
- Esa división del trabajo y de los roles económicos determina unos enormes flujos de materiales, energía y bienes elaborados, además de flujos financieros y de información.
- Algunos de los Estados del centro y las GET (cuya dirección está en esos Estados) han constituido hasta hace poco los poderes básicos que estructuran el orden mundial. Los Estados imponen un orden político y económico mediante el control de las instituciones mundiales, el uso de la fuerza y el apoyo a las GET para que éstas controlen las estructuras económicas mundiales (Gotts, 2007).
- Algunos Estados y GET afincadas en ellos que proceden de la semiperiferia están empezando a formar parte del orden político y económico mundial. Por lo que se está formando un sistema mundial multipolar.

La existencia de elites políticas y económicas, y su control sobre los flujos de todo tipo que configuran el sistema globalizado, determina una conectividad muy elevada del SSE mundial. Aunque hay factores que empiezan a debilitarla y, probablemente, lo harán con más fuerza a medida que pase el tiempo: las desigualdades en el reparto de la riqueza, los múltiples factores de insostenibilidad, etc.

POTENCIAL: En la naturaleza el potencial es un factor siempre positivo. Crece con el aumento de la cantidad de biomasa, de la diversidad biótica, de la redundancia, etc. Los SSE obtienen los recursos y los servicios esenciales de la naturaleza. Es decir, utilizan el potencial natural. Además, a partir de los recursos naturales crean un potencial adicional, es el potencial de origen humano: tecnológico, construido, institucional, social, etc. El gran problema de los SSE actuales es que la mayor parte de la acumulación de este potencial y su utilización se traduce en destrucción del potencial natural. Le llamaremos potencial de perpetuación (PP) porque sirve para que los SSE actuales funcionen e intenten perpetuarse, pero no porque consideremos que puedan hacerlo. Además del PP, se está construyendo otro potencial que engloba la riqueza que es útil para crear un SSE transformado, sostenible, por lo que le llamaremos potencial de transformación

(PT). La acumulación del PP es un factor de la rigidez al cambio, porque la inversión en él limita la capacidad para elevar de forma decisiva el PP.

La reducción del potencial natural realizado hasta ahora y las tendencias destructivas que imperan limitarán de forma creciente la capacidad de los SSE para alcanzar niveles adecuados de satisfacción de las necesidades esenciales. También, es evidente que el proceso globalizador está disminuyendo el potencial social, al erosionar la cohesión social, al promover un individualismo creciente, la marginación de los más débiles y creando así un caldo de cultivo de ideologías separadoras. Gran parte del potencial tecnológico y construido que se está creando es de perpetuación, a pesar de las indudables tendencias positivas, como el desarrollo de las energías renovables. Más adelante mostraremos que crece de forma explosiva el PT energético y que también aumenta de forma notable el PT del transporte, de la agricultura, etc.

PANARQUÍA: Hemos visto que el concepto de panarquía refleja las interrelaciones entre las diversas escalas de un sistema complejo, actuando los sistemas superiores como estabilizadores del resto de sistemas y los inferiores, que son los que evolucionan más rápido, como factores de cambio, de *revuelta*. La panarquía también se manifiesta en los SSE, aunque con rasgos singulares. Los SSE superiores (las potencias) están realizando (especialmente en las dos últimas décadas) una labor de cambio, profundizando en el desarrollo de la lógica del sistema capitalista: impulsando la mundialización de la economía mediante su liberalización, lo cual agudiza la competencia y las secuelas propias de tal iniciativa: polarización de la riqueza y profundización de su insostenibilidad. La liberalización reduce el nivel de autonomía de los SSE inferiores, los condena a una gran especialización (lo cual los subordina a la lógica de un sistema económico globalizado y controlado por las GET) y, consecuentemente, a una alta vulnerabilidad y en muchos casos a la marginación. Las excepciones a esta norma son las ciudades y regiones que constituyen los nodos de la red jerárquica mundial. A consecuencia de la marginación, a escala de ciudades y regiones se articula la resistencia al papel subordinado y vulnerable. Ejemplos de la reacción de defensa son los esfuerzos para frenar o impedir el proceso de deslocalización industrial, incentivando la permanencia de las empresas y aplicando medidas disuasorias. También lo son la multiplicación de incentivos para atraer empresas nuevas, de forma que puedan mantener la diversidad económica e, incluso, mejorarla.

Por ello, algunos autores afirman que los SSE han invertido la panarquía natural. Joung *et al.* (2006) afirman que "una repercusión poco conocida de la

globalización es la reversión de la estructura jerárquica de los SSE de gran escala, tal como indicó Gallopin (1991)". Los sistemas superiores son los impulsores de los cambios y los inferiores tratan de frenar los impactos que sufren. Y ningún SCA puede sobrevivir a una inversión de la panarquía.

Pero la realidad se muestra más compleja de lo reflejado hasta ahora, porque se están produciendo cambios de comportamiento, tanto en los sistemas inferiores como en los superiores. En los primeros, nos encontramos con un número importante y rápidamente creciente de sociedades que no solo realizan una acción de defensa de la estructura económica que está siendo degradada, sino que pretenden transformarse para alcanzar cotas mayores de sostenibilidad, lo cual supone, además, aumentar su capacidad de autogobierno. Y haciendo esto realizan la función de revuelta. Por otro lado, nos encontramos que la cúspide jerárquica está pasando de una fase unipolar (EE UU después del derrumbe de la URSS) a otra multipolar por la emergencia de nuevas potencias. Este fenómeno se está traduciendo en un freno a la mundialización económica y, por el contrario, a un reforzamiento de las organizaciones regionales. El fracaso de la Ronda del Milenio de la OMC constituye una señal destacada de este proceso. Por lo tanto se está debilitando la inversión de la panarquía. Ello lleva a preguntarse sobre la panarquía adecuada para la época actual de emergencia energética. La respuesta solo puede ser general. Los sistemas inferiores deben realizar la misma función que hacen sus semejantes en la naturaleza: la revuelta. Y los sistemas superiores deben realizar dos tipos de funciones: extender y coordinar la labor transformadora, lo cual supone una transformación previa de sus estructuras y objetivos.

4. CONCLUSIÓN

El SSE mundial muestra un nivel muy bajo de capacidad transformadora porque su conectividad es muy elevada, el PT es pequeño y la panarquía está básicamente invertida. El dato positivo es que la tendencia es a debilitar el primer y tercer factor y a fortalecer el segundo.

NOTA

1. Tainter (2005: 92) define un "colapso sociopolítico como una simplificación rápida y la pérdida de un determinado nivel de complejidad social, política o económica".

CAPÍTULO 8

INSTRUMENTOS PARA LA SOSTENIBILIDAD: PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA Y REFORMA FISCAL ECOLÓGICA

La implantación de una economía sostenible requiere realizar una profunda transformación del sistema económico vigente. Muchos gobiernos vienen realizando Estrategias de Desarrollo Sostenible (EDS), y por ello es pertinente evaluar su capacidad de transformación. Un requisito imprescindible de la evaluación es analizar si abordan una reforma fiscal ecológica, porque el sistema fiscal vigente subvenciona la destrucción del planeta.

1. GÉNESIS Y PREMISAS DE LA PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DE LA SOSTENIBILIDAD

El capítulo 8 de la Agenda 21 (Cumbre de Río de 1992) emplaza a los gobiernos a diseñar estrategias de sostenibilidad. A partir de aquí un importante número de Estados comenzaron a cumplir el mandato. En 2001 la UE aprueba la llamada EDS, pero solo contiene reflexiones y propuestas genéricas, por lo que carece de operatividad. Las críticas generalizadas a este documento llevaron a que en 2006 se aprobara la EDS Revisada, que sigue careciendo de un potencial transformador apreciable. La mayor parte de los 30 países de la OCDE han elaborado EDS. De ellos, 23 han diseñado estrategias o planes formales (OCDE, 2006: 10). Todos los miembros de la UE están obligados a realizarlas.

Para que las EDS tengan un claro potencial transformador es necesario que cumplan una serie de requisitos, que son de sentido común. La OCDE y la ONU han llegado a un alto grado de coincidencia sobre los mismos, que se pueden resumir en las premisas siguientes: integrar las tres dimensiones; lograr un consenso sobre una visión de desarrollo sostenible a largo plazo; basar las estrategias en diagnósticos rigurosos; involucrar al más alto nivel institucional; establecer los compromisos a todos los niveles territoriales; un alto nivel de participación; incluir objetivos que vengan acompañados de presupuestos adecuados; realizar el seguimiento de la estrategia y corregirla si se producen desviaciones (OCDE, 2006: 13).

La Declaración del European Environment and Sustainable Development Advisory Councils (EEAC), formada por once EEAC de Estados y de dos regiones, constata que la "gobernanza europea actúa sin darse cuenta de forma que aumenta de forma general la desigualdad, la disrupción social y la dislocación ecológica", por lo que las dificultades de alcanzar el desarrollo sostenible "son enormes" (EEAC, 2008: 4). Como resultado, existe una "enorme incertidumbre sobre lo que puede ocurrirle al tejido del planeta, la habitabilidad de muchas regiones populosas, la salud y seguridad de gran cantidad de gente e incluso de la viabilidad de la humanidad". Por ello prevé que, si bien es posible que se produzcan cambios incrementales y ordenados, en otros casos "pueden ser convulsivos, abruptos y mal coordinados, provocados por la desesperación o el pánico, a medida de que el bienestar humano se deteriore". Así que, "cuanto más tarden las sociedades en encarar la sostenibilidad a largo plazo, más difícil será manejar los cambios altamente impredecibles y posiblemente abruptos de carácter planetario que pueden desbordar a la humanidad" (EEAC, 2008: 3). La declaración estima que, "en el mejor de los casos, hay una *ventana* de 25 años de respuestas genuinamente significativas". Por ello urge a la Comisión de la UE a realizar "unas *series de ejercicios visionarios*, que serían organizados a niveles de la UE, nacionales y subnacionales, con el apoyo de la EEAC. Estas visiones debería abarcar temas como [...] la creación de una sociedad resiliente y justa, la generación de formas de vida sostenibles, el diseño de tecnologías robustas y apropiadas, creando así un espacio de sostenibilidad prolongada y poniendo el énfasis en la viabilidad rural, en las ciudades y regiones y en una efectiva movilización de la comunidad". Todo este proceso se realizaría en un periodo de 1-5 años (EEAC, 2008: 6). Por último, deja bien claro que los mercados no pueden realizar tales transformaciones: "Los mercados no pueden manejar esto [la sostenibilidad] por sí mismos [...] por lo que se necesita una estructura regulatoria robusta para que dentro de la misma puedan operar de un modo sostenible" (EEAC, 2008: 5).

A pesar de que este enfoque es muy estimable, tanto por los elementos que se proponen como por el modo de diseñarlos, en otros capítulos veremos las razones para afirmar que no queda tiempo para realizar prolongados "ejercicios visionarios", ni tenemos 25 años para transformarnos. Por lo que los cambios van a ser "abruptos".

1.1. ANÁLISIS DEL CUMPLIMIENTO DE LAS PREMISAS EN EL CASO DE LAS EDS

Elaboración de un diagnóstico ajustado a la realidad

La Declaración afirma que "un conocimiento efectivo y organizado acerca de las dinámicas y de las crisis potenciales a largo plazo de los sistemas juega un papel clave en la preparación del futuro" (EEAC, 2008: 4). Salvo en el caso del gobierno holandés (que lo realizó antes de elaborar su primer plan, el NEPP1), los casos conocidos de PES no parten de la elaboración de un diagnóstico. La Comisión Europea (2004: 4) llega a la conclusión de que "la mayoría de los documentos analizados (estrategias) no revelan *cómo fueron elegidas las políticas*" (el énfasis es de la Comisión). Otra excepción, y muy notable, es la propuesta de EDS de la Comisión Europea (2001), que comentaremos más adelante.

Definición de objetivos evaluables y coherentes con el diagnóstico

Los objetivos deben ser medibles, coherentes con los diagnósticos y deben reflejar las prioridades. Pero sin diagnóstico no puede haber coherencia. Además, muchos de los objetivos estratégicos de las EDS no son evaluables (por ejemplo, combatir el cambio climático y mejorar la eficiencia en el uso de recursos), aunque sí suelen aparecer en los planes (de cinco años). De los 18 países estudiados por el IISD *et al.* (2004: 13), solo seis emplean "objetivos medibles y ligados a fechas concretas, aunque el grado de especificidad varía considerablemente". Destaca la EDS alemana porque sus objetivos a largo y periodos de realización más importantes son:

- Cambio climático: cumplir el compromiso de Kioto (reducción del 21% del CO_2 equivalente).
- Energía: el desmantelamiento más rápido de la energía nuclear; duplicación de la intensidad (unidades de PIB creadas por unidad de energía)

energética en el periodo 1990-2020; duplicación del porcentaje de aportación al consumo de las energías renovables en el periodo 2000-2010.
- Suelo: reducción del suelo sellado por la construcción urbana y de infraestructuras de transporte de 129 hectáreas/día en la actualidad a 30 en 2020.
- Contaminación: reducción en un 70% en el periodo 1990-2010.
- Agricultura: 20% de suelo agrícola dedicado a agricultura ecológica para 2010.
- Transporte: reducir la intensidad del transporte de mercancía en un 5% y en un 20% la de pasajeros para el periodo 1999-2020 (Ministerio Federal de Medio Ambiente, 2002: 10 y ss.).

Clara y adecuada definición de las instituciones responsables

Es evidente que, para que las EDS puedan cumplirse, es necesario que la responsabilidad de su ejecución se localice al máximo nivel en la jerarquía política. La OCDE (2006: 21) considera que el logro de los objetivos "depende en gran medida de una implicación política al más alto nivel, del buen funcionamiento de las instituciones de gobierno y de la superación de los fallos de coordinación de las políticas públicas". Sin embargo, habitualmente la responsabilidad recae en el Ministerio de Medio Ambiente, que es normalmente el más débil. Por el contrario, "una buena práctica es asignar la responsabilidad a la Oficina de Presidencia", porque es la que tiene poder para obtener el necesario respaldo financiero y para dirimir las disputas (OCDE, 2006: 21).

Adecuación, integración y priorización de las actuaciones

Normalmente las actuaciones programadas son manifiestamente insuficientes para alcanzar los objetivos: "En muchos casos está por ver en qué medida las ENDS (estrategias nacionales de desarrollo sostenible) se quedan en declaraciones de intenciones o contribuyen sustancialmente al cambio de políticas. Sin embargo, no hay signos de inversión de la mayoría de las tendencias insostenibles" (Comisión Europea, 2004: 20). Por otro lado, no es frecuente que los objetivos generales se desglosen en sectoriales para definir la contribución de cada una de las áreas de gobierno al logro de los primeros: "En muchos casos las interdependencias o resultados colaterales entre sectores no se tienen en cuenta, así que las políticas en diferentes sectores caminan en direcciones opuestas" (Comisión Europea, 2004: 6). Tampoco se suele dar una integración vertical, es decir, que los objetivos generales se desglosen en

otros que deben alcanzar las instituciones de gobierno inferiores (regiones, municipios, etc.). No hay conexión entre la estrategia alemana y las de los *landers*. Ello explica que "solo unos pocos gobiernos OCDE han intentado catalizar y coordinar totalmente con los esfuerzos por el desarrollo sostenible a niveles de gobiernos subnacionales" (OCDE, 2006: 24).

Además, no se suelen definir qué actuaciones son prioritarias: "Se nota una falta de priorización en muchas ENDS, lo cual refleja las dificultades que los países encuentran para diseñar unas ENDS concretas, realistas y creíbles objetivos y medidas intermedias". Falta integración y coherencia entre las actuaciones de las estrategias: "Los objetivos y medidas contenidas en las ENDS son a menudo conjuntos de medidas individuales [...] así que a las ENDS les faltan las interconexiones. Se mantienen muchas decisiones que son contrarias a los objetivos de las ENDS" (Comisión Europea, 2004: 20).

Máximo respaldo legal

No es nada frecuente que la sostenibilidad sea un mandato contemplado en las Constituciones nacionales. Entre los casos estudiados, solo Suecia y Suiza se han dotado de Constituciones que elevan el desarrollo sostenible a objetivo nacional. La nueva Constitución suiza establece, además, la obligación de la sostenibilidad en todas las acciones gubernamentales, tanto interiores como exteriores. Por otro lado, el respaldo legal a los PES es señal reveladora del grado de compromiso de los gobiernos con las mismas. El compromiso mayor se alcanza cuando son aprobados por ley. Solo Canadá, México y Madagascar han cumplido este requisito (IISD *et al.*, 2004). Así que "la falta de bases legales significa que las ENDS dependen de la voluntad política del gobierno de turno" (Comisión Europea, 2004: 11, 18).

Recursos financieros adecuados

La aplicación de la PES supone transformaciones muy importantes que requieren fondos muy sustanciales. Y éstos solo pueden venir de una profunda reasignación presupuestaria. La EEAC (2008: 6) defiende que "los objetivos estratégicos deben dar lugar a unos presupuestos orientados por los mismos" y que la "UE necesita un presupuesto y un proceso de definición del mismo focalizado en los valores compartidos por los europeos y en los objetivos estratégicos". Pero a la mayoría de las estrategias nacionales les faltan provisiones para evaluar sistemáticamente los costes y beneficios de las acciones alternativas (OCDE, 2006: 19).

Promoción de la participación, información y formación

La participación es vital para la creación de un *sentido de propiedad* de la PES en la población, el cual es indispensable para el cumplimiento de sus objetivos. Se insiste cada vez más en ello, pero aún hay un largo camino que recorrer. La OCDE (2006: 25) considera que la "participación activa de los agentes sociales (p.e., empresas, sindicatos, organizaciones no gubernamentales, indígenas) en el desarrollo y aplicación de las estrategia nacionales de desarrollo sostenible debería ser un rasgo inherente", pero en los países OCDE "las estructuras varían ampliamente en términos de estatus, tiempo y profundidad de actuación". Bélgica, Finlandia, Francia, Alemania, Hungría, Irlanda, Luxemburgo y Países Bajos, Polonia, Portugal y Eslovenia tienen establecidos Consejos Consultores sobre Desarrollo Sostenible, que forman la Red EEAC (2008). Están compuestos por representantes de las organizaciones sociales y económicas y por expertos.

Proceso de seguimiento y adaptación

Las estrategias deben ser sometidas a una evaluación periódica para corregir sus deficiencias y para incorporar los nuevos conocimientos, compromisos internacionales, Directivas comunitarias, etc. La OCDE respalda este enfoque al considerar que las estrategias "no deben se planes estáticos, sino un proceso de aprendizaje, adaptación y mejora continua", lo cual determina un proceso continuo de "monitorización y evaluación" (OCDE, 2006: 29). El gobierno holandés (2002*b*: 83) reconoce que "algunas cuestiones resultaron ser más persistentes de lo esperado", por lo que considera que "es necesario tomar medidas más fundamentales, que están cerca del núcleo económico". Pero: "pocas de las estrategias más tempranas han llevado a cabo evaluaciones del progreso en la aplicación de las políticas de la estrategia" (Comisión Europea, 2004).

Promoción de la cooperación internacional

La mayor parte de los problemas ecológicos tienen dimensiones planetarias, por lo que no es suficiente "hacer los deberes en casa". Es necesario cooperar para implementar y mejorar los Acuerdos Multilaterales Medioambientales existentes, para aprobar otros nuevos, para contribuir a que el desarrollo de los países menos desarrollados sea sostenible, para desarrollar instituciones ambientales a escala planetaria. A escala estatal destaca la ayuda al desarrollo de Suecia que en 2002 era de 0,74% del PIB y hay un acuerdo parlamentario para que alcance el 1%

para finales de la década (Ministerio de Medio Ambiente, 2000: 32). Mayor trascendencia tiene el compromiso de la UE de ejercer el liderazgo ambiental a escala planetaria. Pero tal liderazgo no refleja un alto nivel de coherencia interna.

1.2. LA PES DE LA UNIÓN EUROPEA

El Tratado de Ámsterdam (1997) incorpora un artículo al Tratado de la Unión que obliga a integrar la variable ambiental en todas las políticas. Sucesivos Consejos Europeos aprobaron el diseño de estrategias sectoriales de sostenibilidad, con el objetivo aprobado en el Consejo de Helsinki (1999) de que se integraran en una EDS. Antes de su elaboración el Consejo de Lisboa (2000) elaboró una estrategia socioeconómica a 10 años que tenía por objetivo convertir a la UE en la economía más dinámica y competitiva del mundo. Como no se elaboraron la mayor parte de las estrategias sectoriales, la Comisión elaboró una propuesta de EDS, después de un amplio proceso de consultas, la cual se presentó al Consejo de Gotemburgo (junio de 2001). Esta propuesta constituye un hito en las políticas de sostenibilidad de la UE. Se centra en "un número reducido de problemas (6) [...] que suponen severas e irreversibles amenazas al futuro bienestar de la sociedad europea". Pero no se abordan los problemas sociales (2), porque se entiende que ya están contemplados en la Estrategia de Lisboa. Los cuatro restantes son:

- "Las emisiones de gases de efecto invernadero debidas a la actividad humana están causando el *calentamiento global.* El cambio climático es susceptible de causar sucesos climáticos extremos."
- "*Las nuevas cepas bacterianas resistentes a los antibióticos de algunas enfermedades* y, potencialmente, los efectos a largo plazo de muchas sustancias químicas peligrosas de uso corriente plantean severas amenazas a la salud pública."
- "*La pérdida de biodiversidad* en Europa se ha *acelerado dramáticamente* en recientes décadas [...] El *volumen de residuos* ha venido creciendo más rápidamente que el producto económico. La *pérdida de suelo* y la fertilidad menguantes están erosionando la viabilidad de la tierra agrícola."
- "*La congestión del transporte* ha venido creciendo rápidamente y se aproxima al colapso."

Para poder abordarlos la propuesta plantea la necesidad de: "*actuación urgente*"; "*liderazgo político*"; "*una nueva forma de hacer política*", ya que la anterior se ha caracterizado por un "enfoque sobre los costes a corto plazo"; "amplia *participación*"; "*responsabilidad internacional*", pero "*debe comenzar poniendo su*

propia casa en orden" (el énfasis es de la Comisión). A continuación resumimos los objetivos y actuaciones más importantes:

- Lograr el objetivo de Kioto (8% de reducción en el periodo 1990-2010).
- Garantizar la seguridad de la cadena alimentaria y que para 2020 los productos químicos no supongan una amenaza para la salud.
- Proteger y restaurar el hábitat y los sistemas naturales y parar la pérdida de biodiversidad para 2010. Gestionar los recursos naturales de forma que se rompan los lazos que ligan el crecimiento económico y el uso de recursos y la generación de residuos.
- Desacoplar el crecimiento económico y las necesidades de transporte mediante el mantenimiento en 2010 de la cota de pasajeros y mercancías del ferrocarril de 1998 (COM(2001)264 final).

Sin embargo, el Consejo de Gotemburgo eliminó los objetivos y solo asumió algunos elementos generales que conformaron la EDS de la UE. Ante la falta de potencial transformador, la Comisión inició en 2003 un proceso de revisión. Y en 2006 fue aprobada la Estrategia Revisada de la UE para un Desarrollo Sostenible (ERDS). Ésta constata que las tendencias negativas siguen empeorando, por lo que "reclaman una solución urgente", pero, por el contrario, afirma que "el reto principal es cambiar de modo gradual nuestros actuales modelos de consumo y producción no sostenibles". La ERDS solo asume los pocos objetivos medibles que tenía decididos la UE en 2006 y abundan los objetivos no verificables: "disociar el crecimiento económico y la demanda de transporte", "fomentar el consumo y la producción sostenibles", etc. (Consejo Europeo, 2006). Un informe pedido por la Comisión identifica "una falta de coherencia entre *objetivos* y *acciones*" y lo ejemplariza en el transporte, en el que faltan "*estrategias integradas y bien fundadas*" (el énfasis es original, ECORYS, 2008: 6, 7).

Por otro lado, la UE no ha sido capaz de encontrar un encaje entre las EDS y las estrategias económicas que ha elaborado. La EDS (Gotemburgo) dice que ha acordado "una estrategia de desarrollo sostenible que completa el compromiso político de la Unión de renovación económica y social [y] añade una tercera dimensión, la ambiental, a la Estrategia de Lisboa" (Consejo Europeo, 2001). Es contradictorio afirmar que se trata de una estrategia de desarrollo sostenible (y por tanto tridimensional) y que solo añada la dimensión ambiental a la Estrategia de Lisboa. Pero en el apartado 7 de la ERDS se afirma que "la EDS de la UE y la Estrategia de Lisboa para el crecimiento y el empleo son complementarias". Por el contrario, en el apartado 8 se afirma que "la EDS de la UE conforma el marco

general en el que la Estrategia de Lisboa [...] facilita el impulso para una economía más dinámica" (Consejo Europeo, 2006). Así que no sabemos si las EDS aportan la dimensión ambiental, si son el complemento o el marco general en el que se integra la Estrategia de Lisboa, por lo que la Comisión ve la necesidad de "clarificar más el papel específico de la EDS" (COM(2009)400 final).

Pero este objetivo carece de sentido para la Estrategia Europa 2020, que reemplaza la Estrategia de Lisboa, porque "necesitamos una estrategia que ayude a salir fortalecidos de la crisis y convierta a la UE en una economía inteligente, sostenible e integradora" (COM(2010)2020 final). Define el crecimiento sostenible como la "promoción de una economía que utilice más eficazmente los recursos, que sea verde y más competitiva". La inteligencia se asocia al desarrollo de "redes (eléctricas) inteligentes" (que aplican la informática y las telecomunicaciones en su gestión, tema que trataremos en capítulo 14). Esta estrategia "ayudará a la UE a prosperar en un mundo con pocas emisiones de carbono y recursos limitados y al mismo tiempo impedirá la degradación del medio ambiente, la pérdida de biodiversidad y un uso no sostenible de recursos" (Comisión Europea, 2010: 12, 17). Así que el área económica (que es la que diseña la estrategia) se considera autosuficiente para tratar la sostenibilidad, porque ignora la ERDS. Y no le importa crear confusión conceptual. El de desarrollo sostenible se sustituye por crecimiento sostenible. Al utilizar conjuntamente los términos sostenibilidad y verde, hay que entender que son diferentes. Se introduce la competitividad como requisito de sostenibilidad. Por último, un dato positivo es que admite que "el clima y los recursos requieren la adopción de medidas drásticas", porque "un uso ineficaz de las materias primas exponen a nuestros consumidores y empresas a perturbaciones de precios dañinas y costosas" (COM(2010)2020 final).

2. REFORMAS FISCALES AMBIENTALES Y REFORMA FISCAL ECOLÓGICA

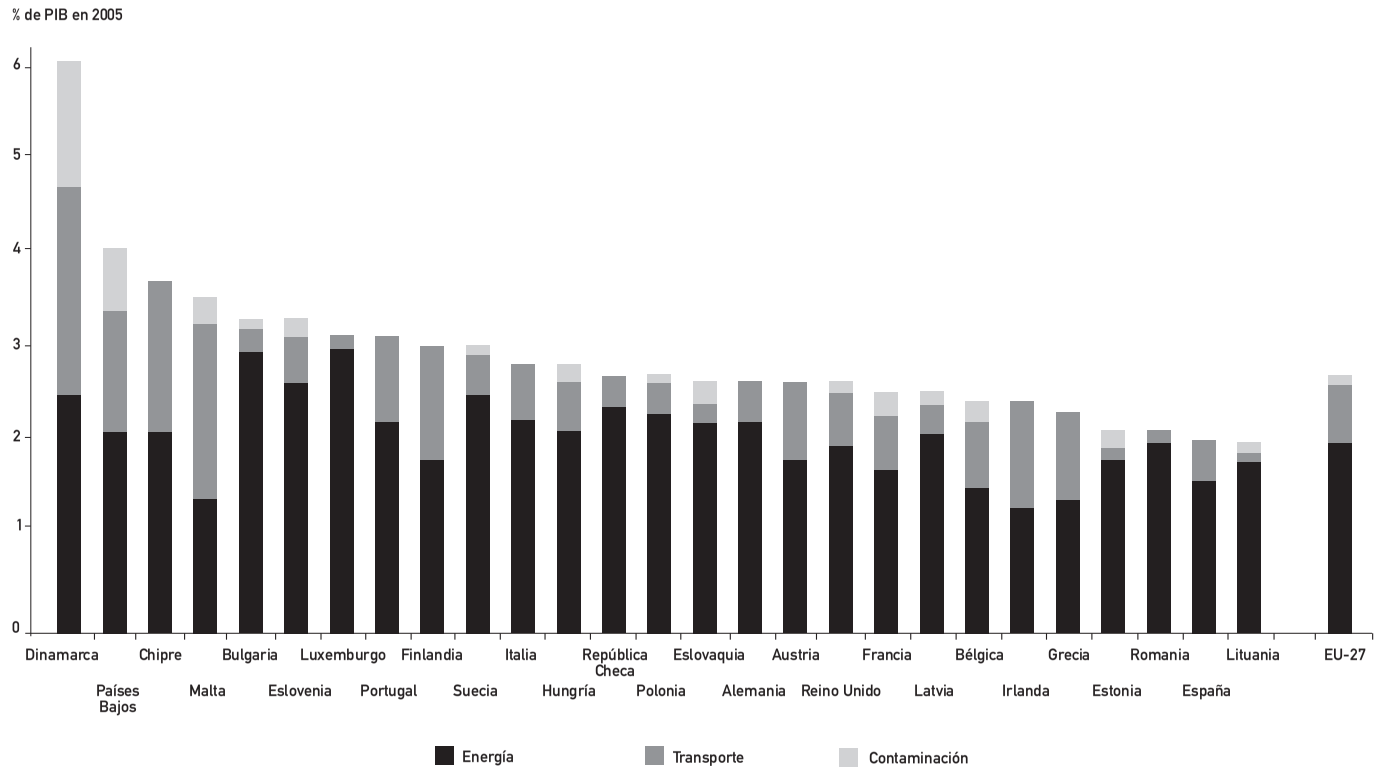
Proliferan los términos asociados a las reformas fiscales con carácter ambiental, lo cual crea una enorme confusión, porque unas veces términos iguales suponen conceptos diferentes y otras, términos diferentes significan lo mismo.

2.1. REFORMAS FISCALES DE CARÁCTER AMBIENTAL

Al estudiar las reformas fiscales con carácter ambiental aparece una enorme variedad de términos utilizados: reforma fiscal ambiental (RFA), verde (RFV) o ecológica (RFE), desplazamiento fiscal ambiental (DFA) y desplazamiento fiscal

GRÁFICO 1

RECAUDACIONES DE LOS IMPUESTOS AMBIENTALES EN LOS ESTADOS MIEMBROS Y TIPOS DE IMPUESTOS



FUENTE: DAVID PEARCE (2002:4). OBTENIDO DE BEERS Y DE MOOR (2001).

sobre la propiedad (DFP). Puede considerarse semejantes o iguales las RFE, RFV y RFA, pero la interpretación que hago de la RFE tiene grandes diferencias con las otras. La OCDE (2005: 24) denomina una RFA a "un nivel de fiscalidad (sobre uso de recursos y contaminación) y otras medidas que afectan a los precios que elevan la recaudación y mejoran el ambiente". El *Green Paper* de la Comisión Europea sobre el relanzamiento de la fiscalidad ambiental coincide con lo expuesto: "Una RFA que desplaza la carga fiscal de los impuestos negativos para el bienestar (p.e., sobre el trabajo) a los impuestos positivos para el bienestar (p.e., sobre actividades que dañan el ambiente, como el uso de recursos o la contaminación) puede ser una política doblemente ganadora para el empleo y el medio ambiente" (COM(2007)140 final). A este doble efecto positivo se le califica "doble dividendo". Pero la AEMA (2005) añade el requisito de la neutralidad fiscal. Una RFA es la "reforma de la carga fiscal de las actividades convencionales a las relacionadas con el ambiente, pero manteniendo la carga fiscal neutral". Pero conviene resaltar que tal política no puede ser el único instrumento de mejora ambiental. Este instrumento "no sustituye sino que complementa y refuerza la regulación y otros enfoques fiscales y de gestión ambiental" (OCDE, 2005: 24).

Algunos países europeos empezaron a aplicar los impuestos ambientales a partir de 1990 y se centraron en la fiscalidad energética. Pero en 1993 recaudaron solo el 1,5% del total en la UE-15 (AEMA, 1996: 8). En los países de la OCDE llegaba escasamente al 2% del PIB a principios del siglo XXI. Los impuestos energéticos suponían en 1995 el 90% de la fiscalidad ambiental, el resto provenía de impuestos sobre emisiones, generación de residuos, productos químicos, etc. En 1999 alcanzaron el 7,6% de la recaudación fiscal de la UE-15, gracias al esfuerzo especial de Dinamarca y Países Bajos (OCDE, 2002*a*). En el gráfico 1 se pone de manifiesto que en la UE-27 la fiscalidad ambiental era del 3% del PIB en 2005. Dinamarca destaca con un 6% del PIB, aunque con una fuerte reducción desde el 9,5% que alcanzó en 2000. Le seguía Países Bajos con un 4%. En el otro extremo tenemos cuatro países: Estonia, Rumanía, España y Lituania con ratios ligeramente superiores al 2%. Se suele considerar [como lo hace S. Speck (2009)] que Dinamarca y los Países Bajos, junto con Finlandia, Suecia, Alemania, Reino Unido, Suiza y la República Checa, vienen realizado reformas fiscales ambientales. Pero los últimos ocupaban posiciones intermedias en la UE-27, por lo que no se justifica tal tratamiento. Las reformas fiscales en la UE-15 solo consiguieron bajar un poco la intensidad energética y mucho menos los costes del trabajo (AEMA, 2006: 30).

Los impuestos ambientales se dividen en cuatro categorías: transporte, contaminación, energía y otros recursos. Los impuestos sobre energía representaban $^3/_4$ de toda la recaudación por impuestos ambientales y alrededor de

la veinteava parte de todos los ingresos fiscales. Los impuestos al transporte representaban 1/4 de la recaudación ambiental (AEMA, 2008: 22).

2.2. CONCEPTO Y PROPUESTAS DE RFE

Las reformas fiscales descritas se caracterizan por su bajo nivel transformador. Frente a ellas, destacados autores defienden que el objetivo perseguido por una RFE es la transformación del sistema económico para acercarlo a la sostenibilidad. Esta transformación implica que las actividades más insostenibles sean drásticamente reducidas, e incluso eliminadas, y que, por el contrario, otras, hasta ahora débiles o inexistentes, se desarrollen intensamente. La RFE utiliza dos instrumentos: elimina los subsidios perversos para la sostenibilidad y establece impuestos escaladores, es decir, que se incrementan anualmente hasta que se alcancen los objetivos perseguidos. De esta forma rompe la concepción monopolista del universo monetario y se pone al servicio del logro de unos objetivos físicos de sostenibilidad. Se mantienen los impuestos escaladores hasta el logro de una economía solar y circular en materiales, de un transporte sostenible, de consumo sostenible, etc. Así que regula el mercado, ya que la función principal que se le atribuye, la de definir los precios, quedaría profundamente alterada. Aquí los impuestos determinarán el componente principal de los precios. Además, la RFE busca eliminar las figuras impositivas que no consideran el uso de recursos como una actividad que deba ser gravada. Por ejemplo, el IVA grava en función del valor añadido. Esto supone que los recursos naturales y el capital utilizado están libres de impuestos. Por el contrario, grava el trabajo y los beneficios, porque el sistema contable los reconoce como el único origen de valor añadido (Paleocrassas, 2002). Por último, tiene en común con las otras reformas fiscales la neutralidad recaudatoria, porque si este requisito es justificable en las reformas analizadas, mucho más lo es en una reforma profunda. Tanto la EDS de la UE como el VI Programa Ambiental proponen "reformar los subsidios con considerable efecto negativo sobre el ambiente" (Parlamento y Consejo Europeo, 2002*b*: 5). Esta propuesta desaparece en la ERDS (Consejo Europeo, 2006: 5).

La RFE explicada constituye un requisito imprescindible para el logro de la sostenibilidad, pero ello no proviene, como opinan los economistas ortodoxos, de que los impuestos ambientales sean el instrumento más eficiente, sino de que el sistema fiscal actual impulsa la destrucción del planeta. Pero, la RFE solo puede tener éxito si forma parte de una estrategia de transformación planificada del sistema productivo hacia la sustentabilidad, que requiere de la aplicación

integrada de múltiples políticas. Fracasará si no se ofrecen alternativas adecuadas a las actividades sometidas a la presión fiscal creciente: si los empresarios no tienen alternativas de producción a costes asequibles, si los automovilistas no disponen de un eficiente sistema de transporte colectivo, etc.

Subsidios

La importancia de una RFE se refleja en la enorme magnitud de los subsidios que apuntalan el sistema económico vigente. La OCDE (2005: 16) define un subsidio como "un resultado de una acción gubernamental que confiere una ventaja a consumidores o productores, en orden a suplementar sus rentas o reducir sus costes". Esta definición incluye actividades tales como pagos directos procedentes de los presupuestos públicos al mantenimiento de determinados sectores, exenciones o rebajas fiscales, así como normas que benefician a determinados actores económicos: entrada preferencial en ciertos mercados, responsabilidad limitada, préstamos blandos y exenciones de cumplimiento de normas (AEMA, 2007: 11).

Los subsidios vía presupuestos suelen ser los más importantes. En la UE más de dos tercios de los subsidios del transporte tienen este origen, de los cuales, otros dos tercios van a carreteras. Entre las políticas fiscales más corrientes están: anulación de impuestos; reducción de impuestos. Entre las derivadas de normas se encuentran: el hacerse cargo de la mayor parte de los costes de seguros sobre siniestros en algunos tipos de empresas privadas, como es el caso de las centrales nucleares; venta de concesiones de extracción de recursos públicos a precios bajos; restricciones de acceso a la red eléctrica a empresas competidoras (AEMA, 2007: 11, 12).

En el sector energético son los combustibles fósiles y la energía nuclear los que más ayudas reciben. Se subvenciona la prospección, la extracción, el consumo, la investigación, la construcción de plantas, etc. Así, por ejemplo, en la mayoría de los países de la OCDE el IVA sobre combustibles fósiles solo se aplica a los hogares. Los acuerdos internacionales eliminan los impuestos sobre hidrocarburos a aviones y ferris. Los países que están introduciendo una alta fiscalidad sobre energía no la aplican, o lo hacen de forma muy rebajada, a las empresas intensivas en energía (OCDE, 2002*a*). La tarifa eléctrica media para las empresas en la UE es más de dos veces inferior a la soportada por las viviendas (EEB, 2002*b*: 5). Una de las subvenciones más decisivas es el acceso a capital barato. Por ejemplo, en los años ochenta los préstamos a la construcción de centrales nucleares tenían un interés del 5% en EE UU, cuando el

interés oficial era del 10-11%. Con este interés los precios de la electricidad debían haber subido un 40% (Roodman, 1998: 82). Un estudio comparativo de las subvenciones a las energías nuclear y eólica en EE UU, durante los 15 años de desarrollo de la primera, llega a la conclusión de que la nuclear recibió 30 veces más que la eólica por Kwh generado (AEMA, 2004: 16).

La OCDE afirma que solo el 10% de los presupuestos estatales de I+D va a las energías renovables, el resto va a las energías convencionales (Comisión Europea, 2004: 38). La AEMA (2002*b*: 18) afirma que en la UE ha descendido la inversión en I+D en energía durante el periodo 1990-1998, pero "aún se concentra en la energía nuclear". Según la AIE, la energía eólica ha recibido históricamente el 10% de la inversión en I+D, frente al 60% de la nuclear. Aunque esta desigualdad tiende a cambiar, aún resulta enorme. Un estudio realizado por el GAO, organismo de la administración estadounidense, en el periodo 2002-2007 la energía nuclear acaparó el 54%, los combustibles fósiles el 27% y las energías renovables el 12% (Levesque, 2007). Para el WCRE (2000) las subvenciones anuales a las energías convencionales alcanzan en el mundo unos 300.000-350.000 M$ (WCRE, 2000) y los autores de la tabla siguiente las reducen a 240.000 millones. Sin embargo, la AIE estima que en 2008 los subsidios a los combustibles fósiles alcanzaron los 557.000 M$. Y un estudio de Bloomberg estima las subvenciones a las energías renovables en 43-46.000 M$, de las cuales, la mitad son agrocombustibles (BNEF, 2010). Es decir, las primeras superan a las segundas por un factor superior a 13.

En la tabla 1 la agricultura ocupa el primer lugar en subsidios con 400.000 M$ al año. Las subvenciones más importantes se producen en combustibles, productos fitosanitarios, abonos químicos, subsidios a la exportación, etc. En el transporte, el de carretera acapara la gran mayoría de las subvenciones. El uso gratuito o subvencionado de las carreteras y los subsidios a los combustibles del transporte de mercancías acaparan el grueso de los mismos. En 22 países de la OCDE el total de las subvenciones a la industria en el periodo 1986-1989 alcanzó los 66.000 M$ (OCDE, 1997*a*: 20), a los que habría que añadir los 30.000 M$ de subvención a la minería (Pearce, 2002). Así que los 55.000 millones de la tabla resultan muy escasos. Mucho más escasos son los 225.000 M$ del transporte de carretera (25.000 son en los países No-OCDE). La AEMA (2007: 7) estima que en la UE alcanzan los 125.000 M€ los subsidios al transporte de carretera, de los que 110.000 millones se refieren a infraestructuras. Además estima en 30.000 millones las subvenciones genéricas al transporte. El total de las subvenciones al transporte alcanza los 269.000-293.000 millones de euros. Así que solo en la UE los subsidios en dólares andarían por los

TABLA 1

ESTIMACIONES DE LOS SUBSIDIOS MUNDIALES 1994-1998 (DÓLARES)

	OCDE	NO-OCDE	MUNDO	OCDE COMO % DEL MUNDO
Sector de recursos naturales				
Agricultura	335	65	400	84
Agua	15	45	60	25
Bosques	5	30	35	4
Pesca	10	10	20	50
Minería	25	5	30	83
Sectores de energía e industria				
Energía	80	160	240	33
Transporte de carretera	200	25	225	89
Fabricación	55	insignificante	55	100
Total	725	340	1065	68
Total como % PIB	3,4	6,3	4,0	

FUENTE: DAVID PEARCE (2002:4), OBTENIDO DE BEERS Y DE MOOR (2001).

400.000 M$. Por lo que se puede estimar que, como mínimo, las subvenciones mundiales al transporte alcanzarían los 800.000 M$.

En conclusión, si se tiene en cuenta que contabilizando todos los subsidios al transporte se deberían incrementar en 600.000 M$ los reflejados en la tabla, que los energéticos deberían incrementarse en 250.000 M$, que los industriales deberían hacerlo en 15.000 M$ y que desde el periodo contabilizado en la tabla la actividad económica ha crecido mucho, y con ella los subsidios, muy posiblemente el total mundial se situaría alrededor de los 2 billones de dólares.

El primer paso para la supresión de los subsidios perversos es su contabilización, algo que solo se ha realizado de forma parcial hasta la fecha por la presión en contra de los sectores privilegiados. Y esto ocurre a pesar de que la OCDE afirma que la eliminación mundial de los subsidios directos sobre los combustibles fósiles supondría la reducción en un 6% de las emisiones de CO_2 y un aumento del 0,1% en el crecimiento económico (PNUMA y AIE, 2002: 16). La Dirección General de Transporte y Energía publicó en 2002 un inventario con las ayudas públicas a los diferentes tipos de energía. En cuanto a la supresión, hay que decir que ningún gobierno tiene un plan para hacerlo, aunque algunos los están reduciendo en ciertos sectores (pesticidas, carbón, etc.). La ERDS de la UE mandata a la Comisión para que en 2008 realizara un análisis de los subsidios y de las vías de eliminación de los perversos. En 2010 aún no lo había publicado (Hortelez, 2010).

Impuestos escaladores

Conviene diferenciar los impuestos escaladores de los progresivos. Un impuesto escalador eleva anualmente la carga fiscal sobre una actividad hasta eliminarla o reducirla drásticamente. Un impuesto progresivo es aquel que se eleva en función del volumen de consumo de un recurso. Numerosos municipios elevan la tarifa del agua a medida que el consumo aumenta. El Reino Unido es el único país que ha utilizado los impuestos escaladores de forma sistemática. La aplicó a vertederos (que funcionó entre 1998 y 2002) y sobre todo a combustibles fósiles. Lo implantó en 1993 el Partido Conservador y posteriormente lo intensificó el Partido Laborista hasta que fue congelado en 2000. El impuesto escalador inicial fue del 3%, después fue elevado al 5% y en 1997 al 6%. Los ingresos se destinaron a reducir las cargas sociales del trabajo y a financiar el sistema sanitario. Produjo además una mejora ambiental. Pero la opinión pública lo rechazó por el coste creciente de las gasolinas y el gobierno se vio obligado a suprimir el sistema cuando los camioneros colapsaron el país bloqueando las refinerías (Green Tax Commission, 2009).

Propuestas de RFE

Ernest U. von Weizsäcker, considerando el referente en la defensa de la RFE, propone un doble proceso simultáneo de reducción de las subvenciones y de elevación paulatina de la presión fiscal sobre las actividades insostenibles. Estos impuestos crecerán a un ritmo anual del 5% durante unos cuarenta años, hasta alcanzar la recaudación del 5-10% del PIB, lo que supone aportar a la recaudación fiscal en la UE un 12,5-25% (teniendo en cuenta que en ella los ingresos fiscales alcanzan el 40% del PIB). Este autor pretende la transformación de muchos sectores económicos (minería, construcción de plantas de energía eléctrica, energía nuclear, fabricación de camiones, química básica, cementeras y fabricación de metales, etc.) mediante la fiscalidad sobre emisiones, materiales y productos. Como resultado de esta presión fiscal, los "transportes de larga distancia, la minería del carbón, las fábricas de envases no reciclables, la construcción de carreteras y parte de la industria química entrarán previsiblemente en crisis económica" (Weizsäcker, 1994).

El European Environmental Bureau (EEB) ha venido desarrollando una campaña a lo largo de la década anterior a favor de una RFE que tiene los siguientes objetivos: eliminar los subsidios antiecológicos; incrementar en un 10% la recaudación por motivos ambientales; y destinarla (mayoritariamente)

a reducir la fiscalidad sobre el trabajo (se estima que puede dar lugar a una reducción del 26%) sobre la base de repartir la rebaja al 50% entre la cuota patronal y la de los trabajadores y el resto a incentivar las actividades de protección de la naturaleza (Maro, 2007). Algunos autores proponen un impuesto escalador sobre cada tonelada de insumos de materiales. Afectaría principalmente a la minería, la construcción, el carbón, etc. Estudios realizados en Alemania llegan a la conclusión de que tendría un importante efecto desmaterializador de la economía (Behrens, 2004: 17 y ss.).

El incremento de la movilidad de personas y mercancías y la utilización creciente de los modos más impactantes convierten al transporte en el sector que más urgentemente necesita transformarse. El establecimiento de una fiscalidad alta sobre la tierra frenaría la actual dinámica de proliferación de infraestructuras de transporte. Los impuestos escaladores sobre los combustibles fósiles llevarían a una disminución de la movilidad y a un cambio hacia los modos energéticamente más eficientes.

2.3. ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS DE RFE PRODUCIDOS

Reformas generales

Dinamarca y Alemania han realizado sendos intentos de avance a una RFE, muy centrados en la energía (aunque los gobiernos los calificaban de RFE), y los resultados han sido coincidentes. En Dinamarca la imposición ambiental alcanzó el 9,5% de la recaudación total en 2000. Aparte de una alta fiscalidad sobre los combustibles fósiles, contiene impuestos muy altos sobre la compra de automóviles, residuos sólidos, aguas residuales, bolsas de plástico y sobre productos químicos peligrosos. Los ingresos permitieron reducir los impuestos al trabajo del 27% al 25,5% en el periodo de 1994-2000. La reacción del público fue negativa, porque solo percibió la subida de impuestos. Los partidos conservadores aprovecharon el descontento, ganaron las elecciones y congelaron la experiencia (2001-2008). En 2005 cayó la recaudación al 6% y en 2009 era del 5%. El nuevo gobierno pretende seguir con la reforma (Danish Ecological Council, 2002). En Alemania la reforma se produjo entre 1999 y 2009. Los resultados han sido: aumento de la demanda de transporte colectivo; las ventas de coches eficientes se incrementaron mucho; se redujo en un 17% el consumo de combustibles; se redujeron las importaciones de combustibles fósiles en un 13%; la industria redujo los costes energéticos en 1.000 millones de euros; etc. También la opinión pública mostró su oposición a la reforma (Cottrell, 2009).

Fiscalidad sobre la tierra

Los economistas clásicos Adam Smith, David Ricardo y John Stuart Mill coincidían en que, de los tres factores de producción (trabajo, capital y tierra), la tierra era la que debía ser más tasada. El siguiente texto de Adam Smith es clarificador: "Tanto las rentas de los solares como las rentas normales de la tierra son una especie de ingreso que el propietario, en muchos casos, disfruta sin ningún esfuerzo o cuidado por su parte. Aunque se le quite una fracción para sufragar los gastos del Estado no se le desanima por ello a ejercer ninguna actividad [...] Probablemente es por esto por lo que las rentas solariegas y las rentas ordinarias de la tierra son la suerte de ingreso más adecuada para soportar un impuesto específico. En este sentido, las rentas de los solares son incluso más adecuadas para impuestos particulares que la renta normal de la tierra" (1994: 754).

En los siglos XVIII y, sobre todo, XIX y principios del XX, políticos que se declaraban fisiócratas o que simplemente estaban influidos por sus ideas decidieron (y en EE UU por Henry George, pensador del siglo XIX) convertir la fiscalidad sobre la tierra en el recurso financiero principal de sus gobiernos. En algunos casos (Dinamarca, Japón —después de la Segunda Guerra Mundial—, Taiwán, etc.) esta fiscalidad fue aplicada al mismo tiempo que se producía la distribución entre los campesinos de las tierras de los terratenientes. En Francia, la república que surgió del derrocamiento de la monarquía obtenía el 80% de sus ingresos del impuesto sobre la tierra. En 1830 aún suponía el 30%, y en 1980 aportaba el 13% de los ingresos. A principios del siglo XX, se aplicó en Estados producto de la colonización (Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica, etc.) y también en Sudamérica en los Estados que formaban parte del Imperio español (Argentina, Colombia, Uruguay, etc.). Hoy en día esta política fiscal se mantiene en numerosos casos (especialmente en ciudades) y se muestran signos de revitalización. Entre 1919 y 1986 la mitad de los gobiernos locales del área metropolitana de Melbourne eliminaron la fiscalidad sobre edificios e incrementaron la de la tierra. La densidad de población de estos municipios es un 50% más alta que la del resto y mayor en los municipios que empezaron antes (Roodman, 1998: 122-123).

El estado de Pensilvania permite (en base a una ley de 1951) impuestos separados de los solares y de los edificios. Quince ciudades, incluida la capital, Pittsburgh, tienen una doble fiscalidad sobre los solares y los inmuebles, gravando entre 4 y 16 veces más los primeros que los segundos. La capital y otra población iniciaron la experiencia en 1913. Entre 1979 y 1980 Pittsburgh incrementó aún más el impuesto sobre la tierra, con el objetivo de obtener la

revitalización comercial del centro urbano. Washington D.F. y muchos municipios del estado de Virginia empezaron a aplicar esta política en la década de 1990. Todos los estados australianos, excepto Victoria, gravan la tierra, aunque se ha venido reduciendo el peso de esta política. En 1991 el 90% de los municipios de Nueva Zelanda gravaban la tierra. En 1990 el gobierno estonio decidió que el sistema fiscal más fácil de aplicar era el proveniente de rentas de alquiler de la tierra, cuya propiedad pública había heredado del régimen soviético, llegando a alcanzar el 95% de sus ingresos. Su posición retrasada en el gráfico 1 es debido a que no se contempla la fiscalidad sobre la tierra (Roodman, 1998: 124; Smith y Nelson, 1998).

Los defensores de esta política fiscal aducen que tiene numerosas ventajas: mejora el uso de la tierra, aumenta la actividad económica, genera un urbanismo de alta densidad mejora la sostenibilidad y mejora la redistribución de las rentas. La fiscalidad sobre la tierra elimina la especulación sobre los solares al disuadir su acaparamiento. Existen numerosos estudios que prueban que, al aplicar esta política, aumenta la actividad económica y el empleo. Se considera que la aplicación de la fiscalidad sobre el suelo ha permitido convertir a Johannesburgo (que era un poblado minero) en el centro de la actividad económica de Sudáfrica, desplazando a El Cabo, a pesar de su puerto es uno de los mejores enclaves del mundo. Promueve la creación de ciudades más densas e impulsa la modernización de edificios, lo cual implica un menor uso de recursos y una mayor intensidad de trabajo frente a la construcción nueva. La mejor distribución de la riqueza se produce especialmente al abaratar el precio de la vivienda. Estudios sobre las poblaciones de Pensilvania que aplican esta política muestran que el 75% de la población paga menos que antes (constituyen las capas de menos ingresos), un 20% permanece igual y un 5% paga más. La fiscalidad sobre la tierra agrícola permite un uso más intensivo de la misma. El envejecimiento de la población campesina, ante la negativa de la nueva generación a retomar la actividad de sus padres, lleva al abandono de las explotaciones. La fiscalidad sobre la tierra obliga a venderlas o alquilarlas, permitiendo así que gente joven, que quiere emprender esa actividad, pueda hacerlo. Por último, son factores de mejora de la sostenibilidad: la menor utilización de materiales en la modernización de las viviendas que en la obra nueva, la creación de un urbanismo más denso y la presión a abandonar las tierras poco productivas, lo cual permite que se puedan restaurar (mediante políticas de apoyo) los hábitats que existían en esos lugares. A pesar de estas ventajas, el poder de las oligarquías terratenientes y constructoras consiguen frecuentemente abolir o minimizar esta política fiscal (Smith y Nelson, 1998: 10-12).

3. PREVISIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA RFE

A la vista del análisis realizado no parece nada probable que los Estados apliquen una RFE integral, aunque es posible que se adopten algunas medidas parciales: alguna reducción de subsidios perversos y aumento de los benefactores, como está ocurriendo con las energías renovables; extensión lenta de la fiscalidad sobre la tierra; aumento de la fiscalidad sobre algún recurso escaso o con grandes impactos ambientales asociados a su uso, como es el caso del carbón; aumento de la fiscalidad sobre el transporte de carretera; etc. Esta previsión se basa en la experiencia. El hecho de que el peso relativo de la fiscalidad ambiental haya menguado en la última década en Europa, y que lo mismo haya ocurrido con la fiscalidad sobre la tierra a escala mundial (salvando algunos casos de progreso), indica la dificultad de avanzar en la RFE. En la UE, el requisito de la unanimidad para aprobar cualquier cambio fiscal constituye un obstáculo insalvable en el avance de una RFE.

Sin embargo, elementos muy importantes de una RFE se han empezando a producir por la vía de escaladas de precios de recursos escasos. Ya se han producido con los combustibles fósiles (y especial con el petróleo), con gran parte de los materiales estratégicos (los materiales que son indispensables para las tecnologías más importantes) y de alimentos, reflejando la creciente escasez de tierra y agua. Las escaseces indicadas van a determinar nuevas escaladas en el futuro, como se han manifestando en 2009 y 2010, a pesar de que la crisis económica no ha sido superada y el consumo de recursos no ha alcanzado las cotas de antes de la crisis.

Así que las sociedades rechazan la aplicación de una RFE, que supondría evitar o disminuir colapsos económicos y sociales, avanzar hacia la sostenibilidad y crear mucho empleo. Pero con toda seguridad esta postura llevará a nuevas escaladas de precios de recursos naturales, provocando nuevas crisis económicas. éste es el resultado de un estudio de la Green Fiscal Commission (2010), que plantea tres escenarios. El escenario B1 supone que la escalada de precios del petróleo (que alcanzó en 2008 los 147 dólares por barril de petróleo) continúa de forma muy suave hasta alcanzar los 170 dólares en 2020. El B2 supone la caída del precio hasta llegar a los 70 dólares en 2020. Y el B3 uno en el que la escalada del petróleo continúa aceleradamente hasta alcanzar los 500 dólares en 2020. En los escenarios B1 y B2 no se alcanzan los objetivos energéticos señalados en la Directiva 20/20/20, por lo que se plantea realizar una RFA caracterizada por el desplazamiento de impuestos. El estudio concluye que los resultados son muy positivos en los casos de reformas fiscales y muy negativos en el escenario B3, por la inflación, las enormes sumas de dinero trasvasadas a los países exportadores de petróleo y la crisis subsiguiente.

CAPÍTULO 9

CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA LA SOSTENIBILIDAD

En este capítulo desarrollaremos de forma sucinta algunas de las líneas maestras del nuevo sistema de ciencia y tecnología. En primer lugar expondremos una visión crítica del paradigma dominante, para pasar a definir las bases del paradigma de sostenibilidad de ciencia y tecnología y terminar con el análisis de los conceptos y modelos tecnológicos que se presentan como contribuciones a la sostenibilidad.

1. CRÍTICA DEL PARADIGMA DEL MODELO ACTUAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DOMINANTE

En los dos últimos siglos se ha producido un enorme desarrollo de la ciencia y la tecnología que nos ha permitido conocer mucho mejor el nacimiento y desarrollo de la vida en la Tierra, el funcionamiento de la naturaleza, los códigos genéticos, el universo y su evolución, la física subatómica, etc. Muchas tecnologías han producido un avance notable en el bienestar de las sociedades, como la electricidad, las telecomunicaciones, el transporte, algunas tecnologías productivas, etc. Pero se han hecho patentes múltiples impactos sociales y ambientales que producen evidentes pérdidas de calidad de vida (contaminación atmosférica, acústica, residuos peligrosos, degradación de la naturaleza, etc.),

además de procesos de agotamiento de recursos. Estos impactos muestran la insostenibilidad del sistema dominante de ciencia y tecnología.

En el capítulo 1 hemos visto que esta civilización es la primera que podemos considerar laica, pero ha erigido un nuevo dios: el sistema ciencia-tecnología, aunque en realidad los dioses serían los científicos y tecnólogos que lo desarrollan. El paradigma dominante de ciencia establece que los hechos sobre los que actúa la ciencia constituyen evidencias indiscutibles y que, para solucionar los problemas que se presentan, la ciencia aplica una rigurosa metodología que determina las soluciones adecuadas, por lo que el desarrollo científico está libre de cualquier aspecto ético o normativo. Los campos científicos están perfectamente delimitados y cada ciencia progresa sin necesidad de cooperación con otras ciencias.

Se está acelerando el desarrollo de cuatro campos científico-técnicos (nanotecnología, biotecnología, tecnologías de captación de energías renovables y las tecnologías de la información y comunicación) que retroalimentan su desarrollo. El endiosamiento de los científicos ortodoxos es tal que creen que en la época actual están provocando "el fin del capítulo de la historia que empezó con los griegos hace 2.500 años" (Allenby, 2009: 174). De todos estos sistemas tecnológicos, se pone el énfasis en la ingeniería genética o la bioeconomía. Por ello J. Benyus (2009) considera que "con el advenimiento de la ingeniería genética, algunos de nosotros han llegado a considerarse dioses, montando un vehículo tecnológico que nos garantiza la independencia del mundo natural". El informe de la OCDE "The bioeconomy to 2030: designing a policy agenda" entiende por *bioeconomy* "el conjunto de actividades económicas en relación con la invención, el desarrollo, la producción de productos biológicos y procesos", actividades que constituyen la "revolución de la biotecnología" (OCDE, 2008*c*). Ésta pretende que "la biodiversidad sea un producto de diseño", hasta el punto de que "el comportamiento y estructura de los sistemas biológicos crecientemente se modifican en función de las dinámicas y sistemas humanos". Así que la "biotecnología nos convierte en 'señores de la biosfera'" (Allenby, 2009: 169, 174). Al igual que en las décadas de los cincuenta y sesenta del siglo XX se nos dijo, bajo el lema "Átomos para la paz", que la energía nuclear nos iba a proveer de energía ilimitada, barata e incluso gratis, ahora vaticinan una "significativa mejora de la calidad de vida humana y de la esperanza de vida [...] con el acompañamiento de prosperidad y disminución de tensión", tal como se manifiesta en un informe para el National Intelligence Council de EE UU (Antón *et al.*, 2001: XI, XII). Y nos dicen que estos avances están muy cerca: "La biotecnología empezará a revolucionar la vida misma para 2015. La enfermedad, desnutrición, producción de alimentos, contaminación,

esperanza de vida, calidad de vida, criminalidad y seguridad serán significativamente atajadas, mejoradas o aumentadas" (Antón *et al.*, 2001). Allenby (2009) afirma que sus beneficios son "la mejora de la salud, multiplicar la productividad agrícola e industrial y reforzar la sostenibilidad ambiental" y que hay un "consenso creciente en que en pocas décadas se puede alcanzar extensiones substanciales de los periodos medios de vida, con una alta calidad de vida".

Esta visión optimista no queda empañada, en opinión de los autores, por su reconocimiento de que tal revolución generará mayores disparidades entre clases, reducirá la privacidad, generará amenazas culturales, el peligro de una enorme catástrofe ecológica debido a los organismos genéticamente modificados, etc. (Antón *et al.*, 2001). Allenby (2009) reconoce que la biodiversidad es crecientemente un producto de "las elecciones de diseño", provocadas por "los imperativos empresariales y políticos (p.e., la seguridad) en vez de las presiones evolutivas", lo cual "tiene potencialmente serias implicaciones en la estabilidad y resiliencia del sistema".

Y estos problemas se están manifestando con la biotecnología y la nanotecnología. Su proceso de desarrollo obedece a un patrón común a los organismos genéticamente modificados (OGM), a los agrocombustibles o a muchos desarrollos de la nanotecnología. Las empresas identifican tecnologías que les maximizan los beneficios, comienzan a invertir fuertemente en I+D, posteriormente desarrollan campañas masivas para convencer a las sociedades y en algunos casos productores (como los agricultores). Por último, y una vez que crece la contestación social, presionan a los gobiernos para que establezcan un marco de regulación que les exima de los efectos colaterales que sufrirán las sociedades (Wakeford, 2003). Por el contrario, la UCS (2009) declara que, "en general, la biotecnología y particularmente la ingeniería genética, no constituyen una contribución fructífera para una agricultura sostenible" y "pueden representar riesgos, algunos únicos, para la salud humana y el ambiente".

La nanotecnología es la manipulación de partículas (las nanopartículas) (NP) con dimensiones menores a un micrómetro: <0.000001 metro. Se le augura una aplicación masiva en ordenadores, ciencia de los materiales, medicina, producción y almacenamiento de energía, etc. Ya se está aplicando en cosmética, en el vestido y en material deportivo sin la más mínima información ni control. Diecisiete expertos reunidos por la Dirección General de Salud y Protección del Consumidor de la UE llegaron a las siguientes conclusiones:

- "enfatizaron que algunas de las nanopartículas producidas por medio de la nanotecnología pueden tener el potencial de crear serias preocupaciones";

- "alcanzaron una opinión unánime sobre el hecho de que los efectos adversos de las NP no pueden ser inferidos (o derivados) de la toxicidad conocida del material base";
- expusieron la "escasez de datos sobre la relación dosis-respuesta y sobre la exposición" (Comisión Europea, 2004*a*: 11). Allanby y Rejeski (2009: 269) declaran que, "a pesar de las sugerencias tempranas de realizar análisis de ciclo de vida, una gestión proactiva de la gestión de riesgos emergentes y de que las infraestructuras de producción fueran más verdes, muy poco ha sucedido en esta dirección".

A pesar de ello, se afirma que vamos hacia una sociedad postindustrial respetuosa con la naturaleza gracias al potencial desmaterializador de tecnologías como, por ejemplo, la microelectrónica y la nanotecnología, y se alardea de la alta eficiencia alcanzada en la OCDE. El respeto de la naturaleza es contradictorio con ser "señores de la biosfera". El alarde de la eficiencia de la OCDE no tiene en cuenta dos factores: el desmantelamiento de gran parte de la industria pesada en la OCDE y que la realidad no ha demostrado el papel desmaterializador de la industria electrónica. En cuanto al primer factor, hay que tener en cuenta que la OCDE importa los productos que antes producía (acero, aluminio, etileno, etc.) y no tiene en cuenta la enorme cantidad de energía que ha sido invertida en su fabricación. La OCDE reconoce que los efectos de estos cambios estructurales son más importantes que las propias políticas ambientales: "En particular, los cambios estructurales hacia los servicios en los países de la OCDE, y hacia la industria en los países en vías de desarrollo, parecen haber sido más importantes que los cambios en las políticas ambientales" (OCDE, 1997: 37). Por otro lado, las previsiones sobre la capacidad desmaterializadora de las nuevas tecnologías no solo no se han cumplido, sino que han provocado un aumento en el consumo de recursos. Si bien hay casos de desmaterialización intensiva (25 kilogramos de fibra óptica realizan el mismo servicio en telecomunicaciones que una tonelada de cable de cobre), ésta está sometida a ciclos, según los cuales los materiales que en un momento son mucho menos demandados que en el pasado, posteriormente vuelven a tener una demanda creciente. El cobre se utiliza crecientemente debido a la potenciación de las tecnologías eléctricas en el transporte, por ejemplo. Se aventuró que las nuevas tecnologías de las telecomunicaciones y de la informática reducirían drásticamente el uso del papel, y ha ocurrido lo contrario. Tampoco la prensa escrita ha sido sustituida por la información informática y el comercio electrónico genera más consumo energético y de embalaje que el convencional (Carpintero, 2003).

También se pone el ejemplo de la miniaturización en la microelectrónica, pero la fabricación de semiconductores crecientemente potentes necesita la fabricación de láminas de silicio cada vez más puras. Esto supone la necesidad de instalaciones de depuración y ventilación del aire cada vez más grandes y la creciente generación de residuos. Para fabricar un chip 32 MB DRAM (que se considera viejo) que pesa 2 gramos se necesitan 1.700 gramos de recursos. Y se considera que los nuevos (VLSI) necesitan más recursos. Esta industria es una de las que más productos químicos utilizan. Se usan centenares de miles de toneladas de cloro, ácidos, disolventes, etc., y generan enormes cantidades de residuos. En el conocido como "el valle del silicio" (condado de Santa Clara, California) hay más vertederos de residuos peligrosos que en ningún otro condado de EE UU y han contaminado los acuíferos (Korowicz, 2010: 25).

Las GET crean monocultivos tecnológicos que están formados por un sistema tecnológico dominante en cada campo, de carácter planetario (y, por tanto, centralizador y no adaptado a las circunstancias locales), intensivo en capital y con pocas necesidades de trabajo, e insostenible. Un ejemplo lo tenemos en el caso de los detergentes. Las empresas diseñan un único tipo que funcione en el caso de calidad de agua más adverso para el lavado (produciendo el mayor impacto ambiental posible), en vez de hacer detergentes adaptados a la calidad de agua de cada zona y tener en cuenta los impactos ambientales específicos (Curtis, 2003). La necesidad de alcanzar o mantener liderazgos científico-técnicos lleva a promover desarrollos rápidos y frecuentemente con grandes impactos ambientales y sociales. Los nuevos sistemas tecnológicos son introducidos sin la definición de los límites de seguridad, sin la más mínima información sobre los productos fruto de los mismos. El logro del liderazgo tecnológico se antepone a todos los aspectos señalados. Los gobiernos apoyan habitualmente este comportamiento de las empresas. Por ello Allanby y Rejeski (2009: 269) consideran que "la evolución tecnológica en la era de la globalización será difícil de parar, si no imposible". Pero esta afirmación no tiene en cuenta la escasez de muchos recursos naturales.

La prepotencia de los científicos que defienden el paradigma dominante se ve negado por ciencias como la cosmología física, la física cuántica, la biología evolutiva y el nuevo campo de la investigación de la conciencia, que han descubierto fenómenos inexplicables que socavan la solidez de las teorías en boga. La cosmología no tiene explicación a la asombrosa precisión y constancia de los parámetros que muestra el universo en su despliegue a través del espacio y el tiempo. Hasta el

punto de que si tales parámetros hubieran sido ligerísimamente diferentes, el universo no habría existido. La física cuántica no puede explicar la razón por la que el mundo subatómico muestra la misma característica que el universo, además del "enmarañamiento", que impide su análisis separado, y de se produzcan fenómenos como el que una partícula ante un obstáculo insalvable desaparezca delante del mismo y aparezca detrás. La biología ha encontrado una extraordinaria coherencia, que no es capaz de explicar, entre las partes de un organismo vivo y entre éste y el entorno, lo que le permite adaptarse al mismo. Por último, son fenómenos inexplicables que algunas tribus nativas puedan comunicarse telepáticamente y que algunas imágenes, ideas y arquetipos aparezcan recurrentemente en civilizaciones que no han tenido comunicación entre ellas (Laszlo, 2004: 19-33).

Ante estos fenómenos, los científicos ubicados dentro del paradigma dominante defienden que constituyen anomalías que no ponen en cuestión el cuerpo básico del sistema científico. Los otros afirman que solo se pueden explicar desde un nuevo paradigma de las ciencias físicas y de la vida. Lo que Ervin Laszlo (2004) define como "una teoría integral del todo" (que es lo que buscó Einstein sin éxito). Este autor ilustra los dos enfoques en palabras de dos científicos. El cosmólogo Steven Weinberg afirma: "Creo que no hay ningún significado que pueda ser descubierto por el método científico [...] Lo que hasta ahora hemos encontrado es un universo impersonal que no está dirigido particularmente hacia el ser humano [...] Y cuando hayamos encontrado las leyes definitivas de la naturaleza serán unas leyes frías, impersonales". Por el contrario, el físico David Peat afirma que la ciencia debe contestar a estas preguntas "¿Cuál es la naturaleza del universo y cuál es nuestra situación en él? ¿Cuál es el sentido del universo? ¿Quiénes somos y cuál es el sentido de nuestras vidas?" (Laszlo, 2004: 6). Los científicos como él adoptan posiciones arriesgadas al explorar otras alternativas, exponiéndose al descrédito y a la marginación académica, aunque, a medida que avanzan en el conocimiento, sus teorías van mostrando una creciente solidez y el enfoque general se va fortaleciendo (Laszlo, 2004: 11).

El desarrollo de la ciencia y la tecnología está en buena medida determinado por los intereses de los centros de poder. La era Bush se caracterizó por llevar al paroxismo esta política. Un informe de la Unión de Científicos Progresistas (UCS, 2008) de EE UU la pone de manifiesto en un capítulo titulado "Modelos de abusos", cuyo índice temático habla por sí solo: falsificación de datos y fabricación de resultados; publicación selectiva de documentos y creación de incertidumbre falsa; amaño de los procedimientos científicos; intimidaciones y presiones a los científicos; censura y expulsión de científicos; ocultación, supresión y retraso en la publicación de documentos científicos; incumplimiento de mandatos legales de uso de la ciencia en

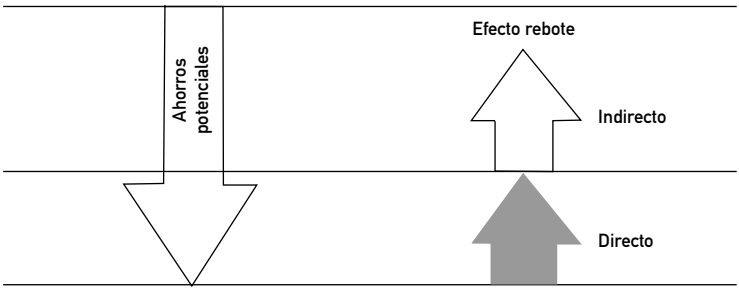
la toma de decisiones en algunos casos; creando conflictos de intereses, al poner al frente de organismos a personas precedentes de la empresa privada que tiene intereses en los posicionamientos de estos organismos y corrompiendo comisiones de asesoramiento científico. Pero la UE y la OCDE tampoco se libran de prácticas manipuladoras. La UE ha ignorado los numerosos informes de sus *Joint Research Centers* acerca de los agrocombustibles. La OCDE defiende la bondad de la llamada biotecnología, sin la más mínima alusión a los problemas que generan algunas líneas de investigación (OCDE, 2008*a*). La Dirección Medioambiental de la OCDE reconoce que la globalización ejerce presiones sobre el ambiente, pero afirma: "Sin embargo, revertir la globalización no resolverá los problemas ambientales. Más bien, gracias en parte a la innovación, el comercio y la inversión, así como nuevos mercados, la globalización puede promover un uso más eficiente de los recursos naturales y reducir la contaminación por debajo de lo que podría ser" (OCDE, 2008*b*).

Para finalizar este apartado, nos centraremos en dos aspectos del desarrollo tecnológico que muestran que éste solo puede ser, en el mejor de los casos, parte de la solución: el efecto rebote y la obsolescencia programada. Se suelen diferenciar dos aspectos del efecto rebote, que se definen, por un lado, como rebote directo o micro-rebote y, por otro, rebote indirecto o macro-rebote.

El micro-rebote o rebote directo se refiere a los comportamientos, derivados de una reducción en el consumo de un recurso debido al aumento de la eficiencia provocado por una mejor tecnología, que provocan un aumento del consumo del mismo recurso. Por ejemplo, la disminución de la factura energética de una vivienda, debida al incremento de la eficiencia de los electrodomésticos, desencadena efectos colaterales que reducen el efecto de la misma, como son la elevación de la temperatura media de la calefacción de las viviendas o el número de bombillas encendidas. La OCDE (1998: 52) afirma que: "En general, la mejora de la eficiencia es utilizada para incrementar las ventas de automóviles y aumentar su tamaño". Se ha calculado que la mejora en un 10% de la eficiencia de los vehículos estimula un incremento del tráfico en 1-4%. El aumento de la eficiencia que supone la telefonía móvil frente a la clásica se ve compensada por el uso masivo de la misma. Por macro-rebote o rebote indirecto se entiende el efecto general y difuso que la reducción del gasto da lugar a un aumento del consumo en otros ámbitos de la economía. Algunos autores estiman que los efectos rebote pueden alcanzar hasta el 40% de la energía ahorrada. Según otros autores, el efecto del macro-rebote es al menos del 10%, y frecuentemente sobrepasa el 50%, y el micro-rebote es probable que sea menos que un 30% en calefacción y aire acondicionado de viviendas y alrededor del 10% en transporte. Todo ello en países OCDE (Echettkat, 2009). Así que este autor estima que el efecto rebote reduce en más de un 50% el ahorro de recursos provocado por la mejora de la eficiencia.

GRÁFICO 1

LOS EFECTOS REBOTE



FUENTE: SCHETTKAT (2009).

Por último, el cambio rápido de productos (y frecuentemente de las tecnologías asociadas) se logra mediante el diseño de productos con una obsolescencia rápida, lo cual constituye un rasgo estructural de despilfarro, de insostenibilidad. Se diferencian tres tipos de obsolescencia:

- Por obsolescencia tecnológica se entiende el diseño de los productos para que tengan una vida cada vez más corta. Otro elemento colateral que tiene la misma consecuencia es la decisión empresarial de dejar de producir componentes, haciendo así imposible la reparación.
- La obsolescencia funcional se produce cuando aparece en el mercado un producto nuevo que realiza la tarea mejor que el antiguo. Casi siempre, las mejoras funcionales son poco relevantes o afectan solo a un número muy escaso de usuarios muy especializados. La mayoría de los usuarios de ordenadores se ven obligados a cambiarlos frecuentemente a pesar de que su grado de utilización sea modesto y estable. La causa es que los nuevos paquetes informáticos acumulan más funciones y requieren ordenadores cada vez más potentes. Así que el cambio de tecnologías base produce una rápida obsolescencia de todas las tecnologías de cada trayectoria tecnológica.
- La obsolescencia psicológica se produce cuando cambian las modas. En este caso se vuelve irrelevante la funcionalidad y la duración. Ésta es la principal causa de obsolescencia en múltiples productos: vestido, calzado, mobiliario doméstico, decoración, estética personal, etc.

2. HACIA UNA CIENCIA AL SERVICIO DE LA SOSTENIBILIDAD

La ciencia de la sostenibilidad rechaza el paradigma dominante y se basa en otro que cambia la visión de la posición de la especie humana en la Tierra y en el universo. Debemos bajar del pedestal desde el cual creemos que dominamos a la naturaleza, que supuestamente está a nuestro servicio, para vernos como una especie más, "con un voto en un parlamento de 30 millones". Y "cuando aceptemos este hecho, comenzaremos a comprender que lo que es bueno para la Tierra lo es también para nosotros" (Benyus, 2009). El proceso de desarrollo del sistema de ciencia y tecnología para la sostenibilidad requiere que se cumplan las premisas siguientes: trasparencia informativa, toma de decisiones de forma democrática, orientación hacia la satisfacción universal de las necesidades esenciales de forma sostenible. La transparencia informativa supone que la población recibe toda la información relevante y sintética existente en la sociedad sobre los problemas de insostenibilidad, sus niveles de gravedad y sobre las actuaciones más adecuadas para resolverlos. La población participa en la toma de decisiones enriquecida con el flujo informativo. Para poder evaluar la sostenibilidad de las innovaciones, de los nuevos procesos de producción y de los nuevos sistemas productivos es necesario contrastarlos con "el modo natural", porque la naturaleza constituye la medida de la sostenibilidad (Benyus, 2009). Analizaremos en primer lugar los requisitos para que la ciencia se ponga al servicio de la sociedad, para acabar estudiando la ciencia de la sostenibilidad.

El International Council for Science (ICSU), que es una organización no gubernamental que representa a 103 organizaciones nacionales y a 27 organizaciones internacionales, plantea en el informe "Science and Society: Rights and Responsabilities" su visión del quehacer científico en cinco aspectos: flujos de ciencia y científicos; producción de conocimiento científico; velocidad de la innovación; gobierno de la ciencia y de la tecnología; las relaciones entre ciencia y sociedad. Defiende la necesidad de garantizar "el flujo libre de científicos y de información científica", como un medio de "asegurar una distribución mundial y equitativa de la producción de conocimiento y del conocimiento". En relación con los problemas de la privatización de la producción científica y de la comunicación científica que suscita la creciente penetración de las GET en la universidad, informa sobre universidades que han definido códigos éticos, pero considera que no resultan suficientes. Por lo que se plantea un estudio de las prácticas actuales para poder definir un código adecuado. Se muestra partidario de revisar "los impactos éticos, ambientales, económicos y sociales de la tecnología; de la transferencia internacional de tecnología; y los impactos en las tecnologías tradicionales y otros sistemas culturales". El aumento en la velocidad de la innovación incrementa sus

propios riesgos, por lo que algunos científicos han llegado a la conclusión de que vivimos en una "sociedad de riesgo" y de que los controles de riesgo (basados en predicciones de expertos y un sistema de compensación a las víctimas) "se han mostrado inadecuados". Reconociendo que hay un debate entre los científicos sobre la pertinencia de hacer públicos los informes de expertos a los gobiernos, se muestra partidario de la transparencia informativa, aunque reconoce que debe profundizarse en este tema. Plantea también la necesidad de crear "instituciones internacionales que participen en la identificación, análisis y gestión de riesgos transfronterizos [...] resultantes de las innovaciones" (ICSU, 2005: 11-16).

Una corriente científica define el paradigma alternativo como ciencia posnormal, siguiendo a Funtowics y Ravetz (1993). Se basa en varias premisas: estamos inmersos en sistemas complejos; existen grandes lagunas de conocimiento; el estamento científico no es el único generador de conocimiento; y el desarrollo científico-técnico está condicionado por factores ideológicos, intereses económicos y políticos. Existen enormes lagunas de conocimiento, especialmente en lo referente a cómo funciona la naturaleza, y un alto grado de incertidumbre sobre los efectos de nuestras actuaciones en el sistema natural, en la salud, en las futuras generaciones, en la cohesión social, en la economía, etc. En las sociedades existe una amplia pluralidad de valores, de preocupaciones, de metas deseables, de formas diferentes de alcanzarlas y de criterios de justificación de las actuaciones. Además, la ciencia no aparece ya como la única fuente de saber. Múltiples grupos humanos (poblaciones aborígenes, campesinas, pescadoras, etc.) han desarrollado conocimientos y formas de actuación (en medicina, producción sostenible, materiales bióticos, capacidad de predecir cambios en el entorno, etc.) que constituyen un patrimonio científico de gran riqueza. Por ello, la ciencia no puede tener el monopolio de definir los cambios, sino que todos los agentes sociales son expertos en diferentes modos y en relación con los diversos aspectos de cada problema, y están legitimados para participar en la definición de las soluciones y en su aplicación: "Los ciudadanos (así como los científicos) se convierten ambos en críticos y creadores, proveedores y receptores en el proceso de producción del conocimiento" (Spangenberg y O'Connor, 2003). Es imprescindible para el desarrollo sostenible la "incorporación del conocimiento generado de forma endógena en determinados lugares y contextos del mundo. Esto representa una gran oportunidad para utilizar insumos procedentes de otras formas de conocimiento, mediante la exploración del valor epistemológico del conocimiento tradicional, local, empírico o indígena" (Modvar, Gallopin, 2005). Por lo que "los científicos no tienen el monopolio de la evaluación ética de su trabajo. Ni necesariamente tienen la capacidad o conocimiento para prever todas la implicaciones sociales de la innovación" (ICSU, 2005: 15).

Las ONG tienen una influencia creciente en las decisiones de los gobiernos y organismos internacionales. Su trabajo ha llevado a que el BM reconsidere su política de inversiones. Las protestas de los afectados por el sistema de pantanos del río Narmanda (India) y la constatación de sus enormes impactos ambientales llevaron a que el BM retirara la financiación y a que se creara la Comisión Mundial sobre Pantanos. También fueron decisivas para que Monsanto desistiera de vender las semillas "Terminator", cuya degradación impedía que los agricultores las reutilizaran. Y la bioética se ha convertido en un campo de estudio e "importantes fondos son destinados por muchos gobiernos a los programas de investigación sobre las implicaciones éticas, legales y sociales del proyecto del genoma humano" (ICSU, 2005: 19 y 20).

Es necesario romper con los compartimentos estancos en que han sido encerradas las áreas científicas. Cualquiera que investigue se da cuenta de que para tener una comprensión sobre múltiples aspectos de cada campo científico es necesario acudir a otras ciencias. Esta constatación lleva (aparte de las incursiones de cada investigador en el conocimiento de los aspectos de otras ciencias que afectan a su propio campo) a la creación de grupos de investigación transdisciplinaria, porque solo ellos pueden ofrecer alternativas a los sistemas complejos que integren aspectos sociales, económicos, ecológicos, etc. Pero siempre teniendo en cuenta que las sociedades deben ser consultadas. Una sociedad democrática es, entre otros aspectos, aquella capaz de decidir aquellos campos que considera más beneficiosos (Spangenberg y O'Connor, 2003). La CEPAL llega a la conclusión de que es necesario que "los científicos y tecnólogos se involucren en un amplio proceso de consultas y diálogos con los grupos sociales relevantes", porque es imprescindible "incorporar las perspectivas y preocupaciones de los mismos, en orden a asegurar la relevancia de la orientación de la investigación en la toma de decisiones colectivas" (Modvar, Gallopin, 2005). Y proliferan las demandas e iniciativas de participación de la ciudadanía "en la definición de las metas y propósitos de la investigación científica y su desarrollo". Se han creado múltiples grupos para analizar las consecuencias de la ingeniería genética y la nanotecnología. Algunos gobiernos se muestran sensibles a tales demandas. En 2003 el gobierno británico organizó un debate público para evaluar los riesgos y ventajas de los alimentos transgénicos; creó tres grupos formados por expertos y representantes ciudadanos. Como resultado del debate, el gobierno adoptó una política mucho más cauta. Dinamarca ha institucionalizado con gran éxito las "Conferencias del Consenso"; los participantes representan de forma equilibrada el tejido social danés y reciben información de expertos sobre el tema a tratar. A partir de ella llegan al mayor consenso posible, el cual tiene gran repercusión en la sociedad e, incluso, ha dado lugar a leyes (ICSU, 2005: 17, 18).

Por último, el enfoque de ciencia posnormal debe complementarse con la visión biomimética de desarrollo científico-técnico. La naturaleza ha venido desarrollándose durante más de 3.000 millones de años y ha sido capaz de que subsistan entre 30 y 100 millones de especies mediante el diseño de multitud de técnicas mucho más eficientes que las nuestras, y perfectamente sostenibles. El Biomimicry Institute, creado por Janine Benyus, es el referente teórico y práctico de la visión de imitar a la naturaleza. En 1998 popularizó sus teorías con el libro *Biomimicry. Innovation Inspired by Nature*, que posteriormente ha ido actualizando, aparte de a través de numerosos artículos, entrevistas y conferencias. J. Benyus defiende que la humanidad debe cambiar su nicho en la biosfera, entendiendo por nicho una profesión en un ecosistema. Según reconocen muchos ecólogos, creamos exclusivamente ecosistemas Tipo I, ya que, al igual que ellos, realizamos una labor colonizadora de espacios. Utilizamos suelo y agua tan rápidamente como podemos. Como este comportamiento es insostenible, debemos sustituirlo por otro a imitación de un ecosistema maduro (de Tipo III), que es autosuficiente porque recicla sus nutrientes. La imitación de los ecosistemas maduros tiene profundas implicaciones: "aquietar la inteligencia humana; escuchar a la naturaleza; repetir (*echoing*) a la naturaleza; y cuidarla". La primera supone la maduración de la especie humana y por ello se entiende el "reconocimiento de que la naturaleza es la que mejor conoce". Por escuchar entiende conocer mejor a la naturaleza. De las 5-30 millones de especies solo se han catalogado 1,4 millones, por lo que necesitamos multiplicar la labor investigadora de la biosfera, para saber lo que hay y cómo se comporta, a pesar de que cada cinco años se duplica el conocimiento biológico. Por ello es importante que ICSU e IGFA (International Group of Funding Agencies for Global Change Research, que es un foro de agencias nacionales campos de investigación de interés mutuo) se hayan puesto de acuerdo en promover el programa de investigación *Earth System Science Partnership* para estudiar de forma integrada el "sistema Tierra: su estructura y funcionamiento, los cambios que le están sucediendo y las implicaciones de ellos sobre la sostenibilidad local y planetaria" (ICSU, 2008: 5; Benyus, 1998, 2009*a*).

Define *echoing* como imitar a la naturaleza y esta actuación tiene tres niveles. El primero supone imitar un aspecto de la naturaleza (como producir tejidos que imiten las plumas de los búhos). El segundo nivel es la imitación de un proceso natural (como la forma en que las plumas de los búhos cambian su forma en función de su temperatura corporal). El tercer nivel es la imitación de los ecosistemas y ello supone que la producción textil "sea parte de una economía que trabaja para restaurar la naturaleza, en vez de agotarla". Además de ser el modelo, la naturaleza es la medida. Una innovación resulta adecuada si promueve la vida, si encaja en el medio biótico y si es duradera: "En vez de domesticar o recolectar, la biomimesis consulta a los

organismos". En vez de utilizar la Tierra como una fuente de materias primas, la debemos ver como una fuente permanente e inagotable de conocimiento: "Al contrario de la revolución industrial, la revolución biomimética nos introduce en una era no en lo que podemos extraer de la naturaleza, sino en lo que podemos aprender de ella. Los verdaderos supervivientes son los habitantes de la Tierra que han vivido millones de años sin consumir su capital ecológico" (Benyus, 1998: 2, 9; 2009*b*). En última instancia, "el mayor legado de la biomimesis será más que una fibra más fuerte o una nueva droga. Será gratitud, y por ello un deseo ardiente de proteger la maravilla que nos rodea" (Benyus, 2009*b*).

Todo ello supone un cambio radical en el paradigma científico y en el estatus de las ciencias. Las ciencias de la Tierra deben desempeñar un papel protagonista a la hora de definir los problemas de insostenibilidad y de validar las soluciones en función de su contribución para resolver los problemas. Y, en última instancia, la ecología (como ciencia de síntesis) debe dar la validación final a partir de comparar las innovaciones con la naturaleza.

3. HACIA SISTEMAS TECNOLÓGICOS SOSTENIBLES

El proceso de cambio tecnológico se suele dividir en tres etapas: invención (desarrollo de algo nuevo), innovación (desarrollo de un producto capaz de ser comercializado) y la difusión (comercialización de la innovación). Aunque no se puede ignorar la importancia de la investigación básica (primera etapa), los principales obstáculos se encuentran en las otras dos, especialmente en la difusión. Aunque la innovación sea muy buena, su difusión no se puede dar por segura. Y es que, entre otras razones de fracaso, las tecnologías individuales actúan dentro de una trayectoria tecnológica, así que su difusión solo puede ser el producto de un cambio sistémico.

Al abordar la transformación tecnológica hay que tener en cuenta que no nos encontramos con tecnologías aisladas, sino con sistemas tecnológicos integrados. Cada sistema tecnológico incluye conocimiento, equipamiento productivo, productos y servicios, así como organización y gestión (PNUMA, 2003). Pero en estos sistemas también existe una jerarquía y, en ella, la posición más alta corresponde a las tecnologías principales (*core technologies*), es decir, tecnologías que pueden ser incorporadas a muchos productos y procesos (microelectrónica, nuevos materiales, nuevas tecnologías energéticas, etc.). Por trayectoria tecnológica se entiende un sistema que contiene una visión del mundo o paradigma, relaciones entre productores y usuarios, tecnologías productivas, transportes, reparación, gestión de residuos, instituciones con normas estandarizadas, un régimen financiero, seguros, etc. (Hall

y Kerr, 2003). Los microprocesadores, por ejemplo, no se utilizan aisladamente, sino dentro de un sistema de comunicación, información y procesamiento de datos que incluye *hardware* y *software*, redes de cables y fibra óptica, satélites de telecomunicaciones, internet, etc. Por ello, una política tecnológica enfocada hacia la sostenibilidad debe dirigir la investigación al desarrollo de nuevas trayectorias tecnológicas e incorporarlas en bloque (sistemas integrados de transporte, de energía, etc.) y facilitar una rápida difusión.

A pesar de que el optimismo tecnológico impera en nuestra sociedad, es muy frecuente que desde las instituciones de gobierno (y especialmente desde el área medioambiental) se insista en que el modo de producción y de consumo imperante es insostenible: aunque "las tendencias actuales tienen un potencial de mejora de la competitividad y de reducción de los impactos ambientales, no son capaces de introducir la producción y el uso de productos dentro de la estructura de la sostenibilidad" (Comisión Europea: 2001). El capítulo 3º del Plan de Aplicación de la Cumbre de Johannesburgo está dedicado a la "modificación de las modalidades insostenibles de consumo y producción", el cual empieza reconociendo que "es indispensable introducir cambios fundamentales en la forma en que producen y consumen las sociedades" (Naciones Unidas, 2002: 14). Incluso se suelen definir con notable precisión los requisitos de un sistema tecnológico sostenible. La Comisión Europea (2001: 7) lo define como el que es capaz de: usar "los recursos renovables y la energía renovable"; usar los recursos no renovables "en sistemas que cierran los ciclos de los materiales; el mantenimiento y restauración de los sistemas ecológicos [...] y la minimización de las necesidades de transporte". Pero éste es un texto típico de los documentos generales de la UE y cuanto más concretos son, menor es la relevancia de la sostenibilidad (Spangenberg y O'Connor, 2003). Además, se sigue considerando que la tecnología es capaz de resolver por sí sola los problemas de insostenibilidad. El Comité Económico y Social Europeo (CESE, 2000) afirma "que, al igual que en el pasado, sigue siendo frecuente la idea que los problemas medioambientales pueden resolverse con medios técnicos". La Comisión Europea (2007: 3) afirma: "Nuestro objetivo es conseguir que la ecoinnovación penetre en todos los sectores industriales porque, de ese modo, podremos hacer frente a muchos desafíos ambientales presentes ante nosotros".

3.1. ANÁLISIS DE ALGUNOS CONCEPTOS Y TECNOLOGÍAS QUE ESTÁN DENTRO DEL PARADIGMA DOMINANTE

Los conceptos y grupos tecnológicos que analizamos aquí pensamos que están dentro del paradigma dominante porque están enfocados a realizar mejoras incrementales: reducir las emisiones, aumentar la eficiencia en el uso de materias primas,

incrementar el uso de materiales reciclados, etc. Además, todo se pone al servicio del crecimiento económico.

Conceptos

Ecoinnovación

La OCDE (2009) define ecoinnovación como los "productos, técnicas, servicios o procesos cuyo objetivo es la prevención o reducción de los impactos ambientales o contribuye a un uso óptimo de recursos". Y a continuación lo explica: "Se espera que las innovaciones amistosas con el ambiente ayuden a reducir las emisiones de efecto invernadero, a usar recursos tales como el agua y las materias primas de forma más eficiente, a incrementar el uso de materiales reciclados, a producir productos de calidad con menos impacto sobre el ambiente y a poner en práctica procesos y servicios más amistosos con el ambiente". La definición de Reid y Miedzinski es semejante, pero incluye la competitividad y la satisfacción de las necesidades humanas: "La creación de nuevos bienes, procesos, sistemas, servicios y procedimientos que son competitivos y están diseñados para satisfacer necesidades humanas y proveer de mejor calidad de vida para todos con un mínimo de recursos naturales (materiales, energía y suelo) a lo largo del ciclo de vida por unidad de *output* y una mínima liberación de substancias tóxicas" (Wuppertal Institute *et al.*, 2008: 15).

Ecoinnovación es un concepto incremental, parcelario y no sistémico: se buscan mejoras ambientales en el sistema productivo, pero sin ponerlo en cuestión, como paso previo a su transformación; y solo abarca el campo de las llamadas tecnologías ambientales. La UE ha lanzado un conjunto notable de programas de ecoinnovación. Los más importantes son la directiva de Ecodiseño, el Programa base sobre Competitividad e Innovación, el 7º Programa de I+D, el Plan de Actuación a favor de las Tecnologías Ambientales (PATA), y la Directiva sobre comportamiento energético de los edificios. La directiva de Ecodiseño de la Comisión se centra en el aumento de la eficiencia energética de los productos. El Programa sobre Competitividad e Innovación (CIP) está dirigido a las empresas y tiene diversos programas, entre los que está la ecoinnovación y representan la quinta parte de la financiación del Programa, mientras que el subprograma de Empresa e Innovación obtiene alrededor del 60% de la financiación. Se estima que el 7º Programa (el más importante, con diferencia, en financiación) destina alrededor del 30% de su presupuesto a ecoinnovación (unos 10.000 millones de euros), pero incluye actuaciones (agrocombustibles, agrorrefinerías y secuestro de CO_2) que no contribuyen a la sostenibilidad. El objetivo del PATA es "*aprovechar todo el potencial para reducir la presión sobre los recursos naturales, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos europeos y*

estimular el crecimiento económico" (el énfasis es original, Comisión Europea, 2004: 3). Pero en 2007 la Comisión reconoció que había avanzado poco. Su informe sobre la aplicación del PATA declara que "para que realmente las cosas empiecen a cambiar en términos medioambientales (en un plazo de tiempo relativamente breve) *las tecnologías ambiéntales tienen que desplegarse y asimilarse en la UE y en el mundo en un grado mucho mayor que el actual*. La ecoinnovación debe convertirse en la corriente dominante de las innovaciones europeas y ser la norma en toda la economía. *No hay tiempo para la autocomplacencia*" (el énfasis es original, Comisión Europea, 2007: 5). Este texto es notable, sobre todo, porque defiende que la ecoinnovación debe ser la norma en todos los aspectos de la economía, pero carece de un análisis de las causas que impiden que tal propósito se cumpla.

Pero en la política de la UE hay incoherencias. Vemos que el 7º Programa está lejos de convertir la ecoinnovación en la corriente dominante. La Directiva sobre la eficiencia energética solo establece unos requisitos mínimos de eficiencia y no contempla medidas fuertes de mejora de la eficiencia energética de los edificios construidos, a pesar de que éstos consumen el 40% de la energía final de la UE (Wuppertal Institute *et al.*, 2008).

Producción más limpia

El PNUMA creó el concepto de producción más limpia en 1989, ante la necesidad de diseñar un enfoque más general e integrado sobre los cambios en los procesos productivos que superara el restrictivo de las diversas técnicas que se venían utilizando, como "minimización de residuos", "prevención de la contaminación", "reducción en origen", etc. Considera que "ofrece una aproximación más sistemática y holística" que la ecoeficiencia porque "constituye la continua aplicación de una estrategia ambiental integrada y preventiva a los procesos y productos con el objeto de reducir los riesgos para la salud humana y el medio ambiente". La producción más limpia incluye la conservación de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción de la cantidad y capacidad de impacto de todas las emisiones y los residuos antes de que éstos abandonen el proceso. Así que seguimos en el ámbito de las mejoras incrementales.

Ecoeficiencia

Este concepto ha alcanzado sin duda un peso en las políticas de las instituciones muy superior al resto de los analizados en este apartado. Fue creado por el WBCSD en 1991, el cual "estaba buscando un único concepto, tal vez una única palabra, que reflejara el objetivo empresarial del desarrollo sostenible" (WBCSD, 2000). Rápidamente se puso de moda en la década de los noventa y ahora es muy utilizado

en relación con la teoría de la desmaterialización del crecimiento o cuando se habla de la integración de la variable ambiental en la industria. Hoy se estudia en universidades y el PNUMA y la OCDE celebran conferencias sobre el mismo. La UE ha puesto en marcha la *European Eco-Efficiency Initiative*; según el Consejo Industrial (1999), "es un ejemplo de aplicación de la integración del desarrollo sostenible e industria de una forma que presta adecuada atención a la competitividad" y está siendo discutido en numerosas foros internacionales (CDS de la ONU, ISO, PNUMA, OCDE, OMC, etc.). Pero se interpreta de formas muy diversas, lo que genera mucha confusión.

El WBCSD lo define de forma sucinta: "una filosofía de gestión que busca mejoras del ambiente que generen paralelamente beneficios económicos" (WBCSD, 2000). La Comisión Europea opina que "la ecoeficiencia es un concepto lineal que busca disminuir los insumos para una actividad dada" (Comisión Europea, 2001*d*: XII). El informe de la OCDE "Eco-efficiency" la considera "un ratio de un *output* dividido por un *input:* siendo el *output* el valor de los bienes y servicios producidos por una empresa, sector o economía y el *input* la suma de las presiones ambientales generado por la empresa, sector o economía" (OCDE, 1998: 15). Este ratio es igual al indicador de productividad de recursos: "el *output* por unidad de *uso de la naturaleza* (materiales+energía+contaminación)" (AEMA, 1998: 17). Por último, "algunas compañías y gobiernos usan el término de forma que es virtualmente sinónimo de 'producción más limpia', mientras, otras lo usan para definir 'la dinámica de *innovación* en tecnología y organización'" (OCDE, 1998: 69). Por tanto, ecoeficiencia es un indicador, un concepto, una estrategia de mejora continua, un ratio, una filosofía de gestión, una dinámica de innovación y un objetivo. Así que es un *concepto chicle*.

Pero, a pesar de la confusión conceptual, la ecoeficiencia tiene varias características básicas: se busca una mejora incremental sobre los productos, tecnologías y sistemas productivos existentes; se aplica de forma parcelada, es decir, a cada producto o proceso productivo, sin tener en cuenta las interrelaciones existentes en el proceso productivo; el ámbito de aplicación es cada empresa, así que no se contemplan las interrelaciones que condicionan las actuaciones individuales. Es decir, se busca que la industria sea "menos mala" (McDonough y Braungart, 2002: 62). Este enfoque general no supone un avance sustancial en relación con el comportamiento tradicional de la industria, porque las empresas siempre han perseguido mejorar la eficiencia como medio de reducir los costes. Esto era lo que perseguía el ingeniero Taylor en el entorno de 1900 con su "organización científica del trabajo" y fue objeto de numerosas iniciativas de Henry Ford en la industria automovilista a principios del siglo XX. Taylor buscaba que "el trabajo fuera realizado con la menor combinación de esfuerzo humano, de recursos naturales y de costes de uso de capital". En la década de los veinte, Henry Ford declaraba que quería "conseguir más de la

energía, de los materiales y del tiempo" (McDonough y Braungart, 2002: 51). La única diferencia es que "la ecoeficiencia ha adoptado una concepción más amplia de los servicios y un abanico más amplio de recursos naturales" (Hukkinen, 2003).

Tecnologías

Ecoindustrias y tecnologías ambientales

La OCDE y el Eurostat definen las ecoindustrias como aquellas que realizan "actividades que producen bienes y servicios para medir, evitar, limitar, reducir al mínimo o corregir los daños ambientales causados al agua, al aire y al suelo, así como los residuos, el ruido y los ecosistemas" (Comisión Europea, 2002*a*: 7). Las ecoindustrias desarrollan las denominadas tecnologías ambientales o ecotecnologías. La Comisión Europea las clasifica en tres tipos: las asociadas a la gestión de la contaminación; las tecnologías y productos integrados "que reducen o eliminan continuamente los efectos medioambientales de las tecnologías generales"; y las de gestión de recursos (como la energía renovable y el agua). El PATA sigue en líneas generales este enfoque: "tecnologías y procedimientos para gestionar la contaminación [...] productos y servicios menos contaminantes y necesitados de menos recursos y métodos para gestionar los recursos de manera más eficaz" (Comisión Europea, 2004: 3). Resulta evidente que se busca la reducción paulatina de la contaminación (especialmente mediante la aplicación de tecnologías a los sistemas productivos existentes, es decir, tecnologías de final de tubería). Solo un tercio de la inversión tecnológica se destina a tecnologías integradas (aquellas que se integran en los procesos productivos para minimizar las emisiones contaminantes y el uso de recursos), frente a los dos tercios dedicados a las tecnologías de fin de tubería (Comisión Europea, 2002).

Tecnologías ambientalmente sanas

Parece que el PNUMA no se atreve a definir qué son tecnologías sostenibles y se limita a describir las tecnologías ambientalmente sanas siguiendo los criterios establecidos en el capítulo 34 de la Agenda 21: protegen el ambiente, son menos contaminantes, usan los recursos de una forma sostenible, reciclan la mayor parte de los residuos y productos y manejan todos los residuos de una forma más aceptable ambientalmente que las tecnologías que sustituyen. Lo resume en la siguiente definición: "cubren todo el espectro de las tecnologías de producción y consumo que son más sanas ambientalmente que las tecnologías que sustituyen". Seguimos en el campo incremental. Constituyen la etapa anterior a la de las tecnologías sostenibles en el proceso de transición hacia

ellas. El PNUMA considera que es difícil establecer normas que definan, a priori, qué tecnologías son sanas, porque esto va a depender de los lugares de aplicación, de las infraestructuras disponibles, de la formación técnica de los trabajadores, los modos de uso, la capacidad de gestión, etc. Por ello, su calificación solo se podrá hacer después de la aplicación (PNUMA, 2003: 16, 17).

3.2. ANÁLISIS DE CONCEPTOS Y TECNOLOGÍAS TRANSFORMADORAS

Tecnologías apropiadas

El concepto de tecnología apropiada, o intermedia, fue diseñado y aplicado por Schumacher en las décadas centrales del siglo XX. En 1973 publicó su obra principal, *Lo pequeño es hermoso*, que ha tenido una gran influencia, sobre todo en un contexto de transferencia tecnológica a los países menos desarrollados. Schumacher (1973) afirma que "las máquinas cada vez más grandes suponen crecientes concentraciones de poder económico y ejercen cada vez más violencia contra el ambiente, no representan progreso: son la negación de la sabiduría". Por ello el concepto de tecnología apropiada se refiere a las que tienen unas características de escala y aplicabilidad idóneas para las sociedades receptoras y para los ecosistemas en los que viven tales sociedades. Son simples, no necesitan formación avanzada para usarlas, no son dependientes de materiales complejos y no existentes en la comunidad (de forma que puedan ser controladas por ella) y no producen efectos dañinos. Son heterogéneas y adaptadas a la cultura, economía, comunidades y ambiente locales. Es decir, mejoran las condiciones socioeconómicas y son sostenibles (PNUMA, 2003: 18, 19).

Tecnologías limpias

Éste es un concepto que se utiliza en Norteamérica y definido como "tecnologías que aprovechan materiales y energías renovables; reducen el uso de recursos naturales mediante un uso más eficiente y productivo; y reducen o eliminan la contaminación y los residuos peligrosos" (Pernick *et al.*, 2009: 3). Lejos de constituir entidades aisladas, forman "un universo complejo, estrechamente integrado y dependiente de multitud de otros factores y fuerzas [...] a semejanza de un ecosistema" (Makower, 2001: 3). La tabla 1 muestra las tecnologías que se consideran limpias, según los estándares norteamericanos. En ella aparece el enfoque práctico: es en general una relación de tecnologías que se consideran más limpias que las que sustituyen. Y en muchos casos constituyen tecnologías sostenibles, pero en otros es discutible: vehículos híbridos, agrocombustibles, cualquier tipo de ferrocarril eléctrico, cualquier

tipo de transmisión eléctrica, etc. Por último, no tiene sentido incluir la biomimesis como una tecnología más, al nivel de membranas, por ejemplo.

TABLA 1

LOS CUATRO ÁMBITOS DE LAS TECNOLOGÍAS LIMPIAS

ENERGÍA	TRANSPORTE
Energías renovables	Vehículos híbridos-eléctricos
Almacenaje de energía	Vehículos eléctricos
Eficiencia energética	Ferrocarril eléctrico
Redes inteligentes	Pilas de hidrógeno para transporte
Trasmisión eléctrica e infraestructura de redes	Infraestructuras avanzadas para transporte
Biomasa y biocombustibles sostenibles	Baterías avanzadas para vehículos
MATERIALES	**AGUA**
Biomimesis	Desalinización energéticamente eficiente
Materiales bióticos	Purificación por luz ultravioleta
Reutilización y reciclaje	Purificación por ósmosis inversa
Materiales para edificios verdes	Membranas
Química verde	Medidas y controles automatizados
Sistemas de la cuna a la cuna	Recuperación y captura de agua

FUENTE: PERNICK *ET AL.* (2009: 3).

Biomimesis

A medida que vamos conociendo mejor el funcionamiento de la naturaleza resulta cada vez más incomprensible la satisfacción que impera en los centros de poder y en amplias capas de la población sobre las tecnologías desarrolladas, porque no resisten la comparación con las semejantes de la naturaleza. El sistema tecnológico dominante fabrica materiales por el método de "calentar, batir y tratar". Esto es lo que ocurre con el Kevlar, la fibra más fuerte que hemos construido: se fabrica a partir de derivados del petróleo, se introduce en una cámara presurizada que contiene ácido sulfúrico concentrado y se le somete a altas temperaturas. Se consume gran cantidad de energía y se genera un residuo altamente tóxico. Sin embargo, las arañas fabrican seda con agua e insectos, a la temperatura y presión ambiental, que es mucho más fuerte y flexible que el Kevlar y cinco veces más resistente que el acero. Asombra cómo los árboles transportan metros cúbicos de agua a decenas de metros de altura mediante la transpiración promovida por la energía solar, los manglares desalinizan el agua marina, las hojas captan energía solar con gran eficiencia, las termitas

termo-regulan sus viviendas mediante el diseño estructural, algunas especies producen cerámicas duras como la de las perlas, qué y los huesos sean tan ligeros y resistentes, etc. El sistema cibernético de un ser vivo es incomparablemente más rápido, y capaz de procesar una ingente cantidad de información, que el sistema más avanzado de comunicaciones humano. Nuestros radares no se pueden comparar con el sistema de multifrecuencia de los murciélagos. Las tortugas, mariposas, pájaros, etc., navegan sin mapas. Muchas especies construyen estructuras duraderas con el mínimo material. Las abejas, por ejemplo, construyen las celdas de los panales de forma que se maximice el espacio disponible, pero con paredes resistentes y duraderas (Benyus, 1998: 6, 97, 265).

La naturaleza "es el modelo, la medida y el mentor" (Benyus, 2009). Ser mentor quiere decir que es una fuente de inspiración. Es un modelo a imitar, en productos, en procesos de producción y en organización ecosistémica, y la medida de lo que es sostenible o no. Por ello, ante cualquier innovación hay que preguntarse si promueve la vida y si tiene precedentes en la naturaleza. Un ejemplo de cómo la naturaleza es la medida de la sostenibilidad es el hecho de que la biología sintética (la introducción de genes de unas especies en otras) no puede ser sostenible, porque realiza algo que la naturaleza no hace.

En realidad la humanidad nunca ha dejado de imitar a la naturaleza. Por ejemplo, en el mundo antiguo se usaban las energías renovables para el transporte y para mover artilugios en la producción artesanal y manufacturera. La civilización industrial también ha innovado imitándola: en la navegación aérea, en la marina, en la captación de energías renovables, etc. Pero tales imitaciones suelen tener elementos insostenibles, como utilizar derivados del petróleo. Sin embargo, a partir del siglo XXI se está intensificando la investigación biomimética. Es enorme la cantidad de productos biomiméticos que se comercializan o están en fases previas. Los campos más activos son: superficies; empaquetado; aerodinámica; robótica; energía y eficiencia en el uso de recursos; aplicaciones médicas y farmacéuticas; arquitectura; etc. Pero solo unos pocos productos alcanzan mercados de masas, salvo en el caso de la captación de energías renovables. Varios factores pueden explicar, al menos en parte, tal resultado: el paradigma dominante; la innovación que imita a la naturaleza necesita de largos procesos de maduración, pero mantener o alcanzar el liderazgo en la carrera competitiva requiere de innovaciones rápidas (Mueller, 2008).

Existen algunos casos notables de procesos productivos que se inspiran en la naturaleza. La química verde imita a la naturaleza al usar, como ella, pocos materiales y muchos reactivos, al contrario de la química tradicional. Se asegura que sus costes son menores, pero no se acaba de ver su despegue general. Existe una notable actividad de construcción de sistemas biomiméticos. La arquitectura está

introduciendo un número cada vez mayor de elementos biomiméticos (eficiencia energética, captación de energía solar, reciclado de agua, etc.) pero, además, se está trabajando en una construcción que imita el sistema natural. Algunas universidades trabajan en la construcción de edificios que se inspiran en los termiteros, que mantienen la temperatura constante a pesar de que en el exterior las temperaturas puedan oscilar en 24 horas entre 1,6 y 40 º C. El complejo del Istmo de Santa Catalina en las Las Palmas de Gran Canaria pretende ser autosuficiente en energía y agua (mediante la desalinización del agua por un proceso biomimético). Philips está desarrollando un edificio denominado autosuficiente, cuya característica principal es que la fachada se construirá con materiales sensibles (como una membrana) que captan aire, luz y energía y los canaliza hacia el interior. La ciudad de Masdar, que está siendo construida en Abu Dabi, utilizará exclusivamente energía solar, reciclará los materiales y el agua y el transporte será eléctrico. Por otro lado, la permacultura (agricultura permanente) crea sistemas productivos altamente eficientes y autosustentados imitando los ecosistemas. El Biomimicry Institute trabaja en la creación de sistemas productivos que se inspiran en las praderas. Por último, en un capítulo posterior analizaremos el campo emergente de los ecosistemas industriales (ECOS, 2006, feb.-mar.; *The Economist*, http://biodesign.wordpress.com).

Pero no se trata solo de crear sistemas productivos que constituyen demostraciones aisladas. La naturaleza desarrolla sistemas tecnológicos extremadamente diversos para adaptarse a las condiciones de cada entorno y circunstancias. Esta diversidad le da resiliencia frente a los cambios rápidos. Por ello debemos crear infraestructuras y plataformas que puedan ser utilizadas por un conjunto diverso de tecnologías, porque son más capaces de adaptarse a los cambios rápidos. Sistemas que, aunque se basen en tecnologías universales, se puedan adaptar a cada sociedad: "La existencia de diversidad y de considerable profundidad de conocimiento acerca muchas opciones tecnológicas alternativas es un potencial de autorrenovación sistémica y de adaptación a nuevas circunstancias" (PNUMA, 2003: 6).

TERCERA PARTE

HACIA UNA ECONOMÍA SOLAR

CAPÍTULO 10

LOS TECHOS DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

La energía ha determinado el desarrollo y la supervivencia o muerte de las civilizaciones. La civilización industrial se ha construido gracias a los combustibles fósiles, en especial al petróleo, por tener una alta densidad energética, ser fácilmente extraíble, manejable y transportable, además de ser la materia prima de una gama amplísima de productos. El uso de los combustibles fósiles supuso un salto cuántico en la disposición de energía. Se estima que un barril de petróleo (159 litros) contiene una energía equivalente a 25.000 horas de trabajo humano (Gowdy, 2006). No es de extrañar que las guerras del siglo XX hayan estado en gran medida motivadas por el control de petróleo y que las perdieran aquellos países que no pudieron asegurarse un flujo suficiente del mismo, como fue el caso de Alemania en las dos guerras mundiales y de Japón en la segunda. Según la AIE (AIE, 2008, WEO), el consumo de combustibles fósiles alcanza el 82% de toda la energía primaria mundial, desglosado así: petróleo (35%), gas natural (21%), carbón (26%). Los incrementos de consumo anuales a largo plazo son aproximadamente 2,2% (gas), 1,8% (petróleo, pero un 2% en los últimos 27 años) y el carbón, después de estar estancada en la década de los noventa, en la siguiente creció al ritmo del 4,8%.

En este capítulo analizaremos los factores que determinan los techos de los combustibles fósiles, su momento y evolución futura de las respectivas ofertas, centrándonos sobre todo en el petróleo y en menor medida en el gas

natural. Por último, analizamos brevemente el efecto de la escasez de combustibles fósiles en el cambio climático.

1. EL TECHO DEL PETRÓLEO

1.1. LAS RESERVAS

Se contabilizan: crudo (que es petróleo obtenido directamente y del que existen calidades muy dispares); condensado (petróleo fruto de la condensación espontánea procedente del gas natural bruto asociado al petróleo); gas natural líquido, que se obtiene en plantas separadoras del gas bruto y está formado por propano, butano, pentanos, etc.; el petróleo hiperpesado (especialmente en Venezuela), del que no se obtienen los destilados más ligeros que tiene el crudo, pero sí los intermedios y gran abundancia de pesados (alquitrán, sobre todo); betunes de los que se obtienen gasolinas, como el de arenas bituminosas (sobre todo de Canadá, que es el resultado de la acción de bacterias sobre el petróleo que afloró a la superficie impregnando arenas) y el de pizarras bituminosas; gasolinas obtenidas del carbón; agrocombustibles; etc. Esta diversidad propicia que no haya consenso al clasificarlos.

Las reservas de petróleo se han clasificado en convencionales y no convencionales. El convencional es ligero, con escaso contenido de azufre y se extrae de zonas fácilmente accesibles. Petróleo no convencional es el que tiene, al menos, algunas de las siguientes características: alta densidad, alto contenido de azufre o de metales pesados y acceso difícil. Sin embargo, la AIE incluye en el capítulo no convencional solo los combustibles que no son petróleo: gas natural líquido, betunes, gasolinas procedentes del carbón, agrocombustibles, etc. Pero las empresas y organismos públicos los agrupan en el epígrafe "todos los líquidos" porque evitan así mostrar el declive del crudo. En este texto utilizaremos la clasificación tradicional.

No hay datos fiables sobre las reservas existentes, especialmente en el caso de los países petroleros que tienen nacionalizados los yacimientos (los cuales representan la gran mayoría), porque son un secreto de Estado. Los gobiernos que tienen el petróleo nacionalizado exageran su potencial para atraer inversiones y para tranquilizar a sus poblaciones. A los miembros de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) esta postura les ha permitido, además, demandar históricamente una mayor cuota de extracción.

A pesar de la falta de datos fiables, la gran mayoría de los estudios llegan a la conclusión de que las reservas originarias de petróleo convencional oscilan alrededor de los 2.000 Gigabarriles (Gb). El informe "Global 2000", publicado

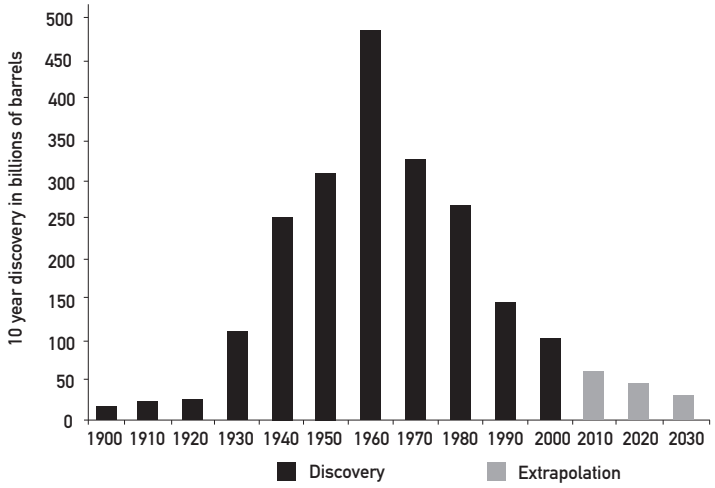
en 1980 por orden del presidente Carter y el más exhaustivo que se ha realizado, estima unas reservas originarias de 2.100 Gb. La Association for the Study of Peak Oil (ASPO), una organización internacional que se dedica al estudio del techo del petróleo y a elevar la conciencia de los gobiernos y sociedades sobre el problema, mantiene la estimación más baja: 1.900 Gb. La estimación media de 65 consultoras, compañías de petróleo y otros entes es de algo menos de 2.000 Gb. Por el contrario, un estudio del 2000 del US Geological Survey (USGS) estima en 3.300 Gb el petróleo convencional originario, lo cual, junto a estimaciones también desmedidas sobre el petróleo no convencional, le permite afirmar que no habrá problemas de abastecimiento hasta después de 2030. La diferencia entre ambas estimaciones es más importante de lo que se aprecia a primera vista porque, como ya hemos consumido unos 1.000 Gb, la segunda estimación es más del doble de la cantidad remanente de la primera. Este estudio se está desacreditando porque el ritmo actual de hallazgos es la cuarta parte del previsto. Por ello, el USGS redujo sus estimaciones en 500 Gb en 2007. Más adelante veremos que la AIE se va despegando del USGS en sus informes anuales "Wold Energy Outlook" (WEO) a partir de 2008 (ASPO Newsletter 2003, diciembre; Zittel y Schindler, 2003 y 2004; AIE, 2008).

El gráfico 1 muestra el declive de los nuevos descubrimientos en un contexto de aumento del consumo. La curva de nuevos descubrimientos alcanzó su techo en 1964, tal como muestra el gráfico, y ahora tiene una caída tendencial de alrededor del 5% al año. Desde finales de la década de los setenta (periodo en el que se descubrió la provincia petrolífera del mar del Norte y los yacimientos supergigantescos de la bahía de Prudhoe en Alaska y el Cantarell en México) no se han descubierto yacimientos de este tipo y los gigantescos hallados tienden a cero.

Las fuentes principales de petróleo no convencional son los yacimientos: de aguas profundas (>500 m); de arenas bituminosas; del polo ártico; de petróleo ultrapesado; y el gas natural líquido. Éste constituye el petróleo no convencional de mayor importancia por su volumen actual y por el mantenimiento de su capacidad en las próximas décadas. La extracción de petróleos muy pesados se parece más a la minería que a la típica extracción de petróleo. Su extracción es muy lenta y después es sometido a un complejo proceso industrial. Solo la mitad del betún de arenas bituminosas es procesado y convertido en petróleo sintético. En el proceso se pierde alrededor del 10% del producto original (Schindler *et al.*, 2007: 7 y 8). El petróleo de aguas profundas es el recurso nuevo de mayor importancia (se le estiman un 7-8% de las reservas mundiales), pero tendrá una vida corta (una vez alcanzado el zenit, los yacimientos pierden capacidad al ritmo anual del 6-12%) y los accidentes

GRÁFICO 1

DESCUBRIMIENTOS DE PETRÓLEO POR DÉCADAS



FUENTE: ASPO NEWSLETTER, 2009 ABRIL.

que se producirán en las yacimientos ultra profundos (>1.500 m). ASPO estima en 525 Gb la dotación originaria de petróleo no convencional. Lo desglosa de la siguiente forma: pesado (226 Gb), englobando el petróleo pesado y el de arenas bituminosas; de aguas profundas (89 Gb), polar (52 Gb) y gas licuado (156 Gb). Y realiza un redondeo de 2 Gb para alcanzar el total. El petróleo no convencional alcanzó su techo en 2005. Pero se aproxima otra limitación: la del balance energético. Cada vez se necesita el aporte de más energía en las explotaciones. El balance energético general entre energía obtenida e invertida ha pasado de un ratio 100:1 en 1950 al actual que es menor de 10:1 y sigue cayendo. Las arenas bituminosas de Canadá tienen un ratio de 5-6:1. Y para algunos autores tal ratio está en el límite de rentabilidad (ASPO Newsletter, 2009 abril; Bukold, 2010).

1.2. LOS AGENTES PRINCIPALES

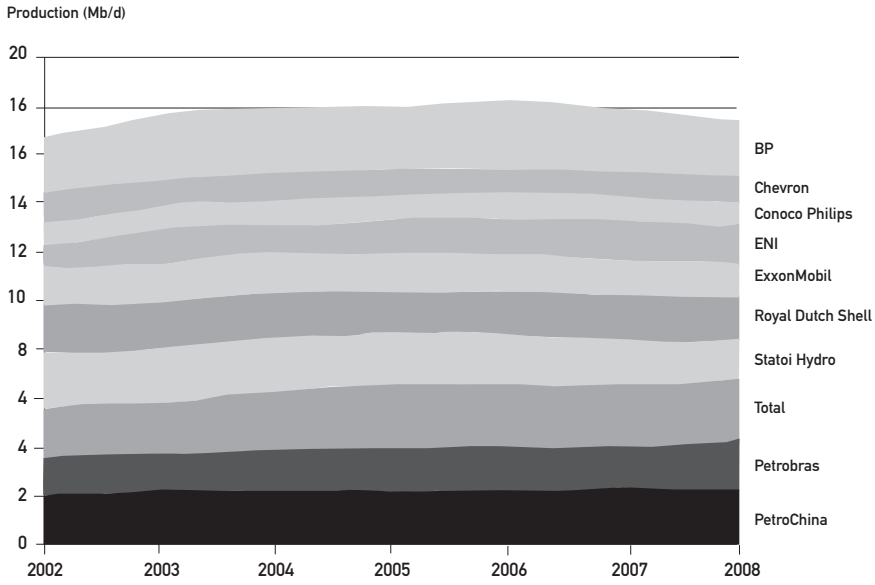
Empresas privadas

Hasta la década de los sesenta, siete empresas (hasta que la legislación antimonopolios de EE UU obligó a dividir las empresas estadounidenses) controlaban el petróleo mediante el International Petroleum Cartel (IPC). Se repartían el mercado en función de un sistema de cuotas. Después, tras la nacionalización del

petróleo del golfo Pérsico (producido en la década de los setenta) y la desaparición del Cartel, las compañías privadas dejaron de controlar los precios. Además, se vieron obligadas a buscar petróleo en zonas cada vez más inhóspitas, aunque su situación se alivió con la explotación del petróleo del mar del Norte, que se inició en la misma década. Pero con el declive de ese petróleo a partir del 2000 y las nacionalizaciones que se están produciendo, con especial incidencia en Rusia y América del Sur, su situación es cada vez más precaria. Se estima que las empresas privadas controlan menos del 20% de las reservas mundiales de petróleo (ocupando Exxon, la mayor empresa privada, el puesto 17) y decrecen tal y como se muestra en el gráfico 2 (Baker Institute Policy Report, 2008, Number 37).

GRÁFICO 2

VENTAS DE PETRÓLEO DE LAS COMPAÑÍAS PRINCIPALES



FUENTE: : ITPOES (2009: 12).

Dado el declive de las reservas, las compañías incrementan las inversiones destinadas a comprar otras empresas (BP absorbió a Amoco y Arco, Exxon a Mobil, Chevron a Texaco y a Unocal, etc.) y a aumentar sus reservas de gas natural (la estrategia de Shell se centra en él). El gráfico anterior muestra el declive de las reservas de las compañías principales, con la excepción de Petrobras, la compañía nacional brasileña, debido a los descubrimientos de yacimientos marinos a gran profundidad. A medida que sus reservas menguan, las compañías multiplican sus estratagemas para

ocultar los datos reales. La contabilidad de las reservas de las compañías no distingue entre petróleo descubierto y el de las compañías que son absorbidas. Y, como su comportamiento típico es absorber otras compañías, la mayor parte de las reservas nuevas provienen de esta política. Además, declaran como aumento de reservas sus estimaciones de los nuevos yacimientos, incluso cuando aún no saben si la explotación va a ser rentable. Por último, dan estadísticas conjuntas de las reservas de petróleo y gas natural en barriles de petróleo equivalentes (Rodrigue, 2008).

OPEP

En 1960 Venezuela, Irán, Irak, Arabia Saudí y Kuwait crearon la OPEP para aumentar las rentas del mismo, cuyo reparto imponía el citado cartel de empresas privadas (IPC). Pero en la década de los setenta muchos países iniciaron un proceso nacionalizador (Libia, 1971; Irak, 1972; Irán, 1973; Venezuela, 1975; Arabia Saudí, 1979). A partir de entonces la OPEP pretendió fijar los precios complementando el suministro de las compañías privadas y de los países exportadores No-OPEP. Los países miembros tienen unas cotas de suministro en función de las reservas que se les estiman y, tradicionalmente, la OPEP las aumentaba o reducía proporcionalmente para sostener los precios que estimaba adecuados. Durante el periodo 1974-1978 consiguió controlar los precios, pero después perdió esta capacidad y la situación habitual es de falta de control, debido a la guerra entre Irán e Irak; la aparición en el mercado de Rusia, México, Gran Bretaña y Noruega; las divergencias internas sobre las cuotas; Arabia Saudí ha venido superando su cuota, a partir de un acuerdo con EE UU de mantenimiento de unos precios bajos a cambio de protección militar, y a partir de 2004 empezó a bombear a pleno rendimiento para satisfacer una demanda creciente, por lo que dejó de controlar los precios, uno de los factores de la escalada de precios que se produjo entre 2002 y 2008. Sin embargo, el desplome del consumo provocado por la crisis económica, y la consiguiente reducción de la oferta, le ha permitido volver a influir en los precios. Por último, la OPEP está formada por los países del golfo Pérsico, Argelia, Libia, Angola, Nigeria, Venezuela y Ecuador (Rodrigue, 2008).

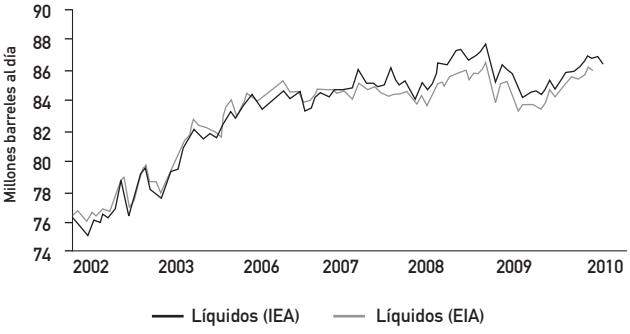
1.3. LA OFERTA

Los yacimientos gigantescos que han satisfecho la mayor parte de la demanda se están agotando y los nuevos son cada vez más incapaces de sustituirlos. El 70% del petróleo proviene de yacimientos de más de 30 años. Unos 120 yacimientos con

una capacidad de bombeo superior a 100.000 b/d cada uno suministran el 50% del petróleo. Setenta mil yacimientos completan la otra mitad de la oferta. Ello indica que los yacimientos nuevos son cada vez más pequeños y se agotan más rápidamente. Los 20 yacimientos más grandes aportaban el 27% de la oferta mundial y tienen una vida media de 50 años. De ellos, 4 se encuentran en la fase de máximo bombeo y el resto, en diferentes fases posteriores (con ritmos de extracción entre el 85% del máximo y menos del 50%). Catorce tienen una edad media de 55 años. El gráfico 3 refleja la evolución de la oferta de todos los líquidos durante el periodo 2002-2010. Las dos curvas corresponden a las estimaciones de la AIE y de la EIA (Energy Information Administration) y reflejan el crecimiento intenso de la oferta hasta 2005, un estancamiento hasta 2007, una pequeña y breve elevación a principios de 2008, después una reducción de 3-4 Mb/d (realizada por la OPEP para ajustarla a la demanda), seguida de una fuerte recuperación en 2010 de 2,3 Mb/d. Esto supone que la oferta lleva seis años en una meseta oscilante (+/- 5%). A partir de aquí la AIE prevé en el "*New Policies Scenario*" del informe WEO2010 (que estima más probable, porque integra las políticas asumidas por los gobiernos) un aumento de la oferta en 2011 de 1,2 Mb/d y que hasta 2035 éste sea el ritmo medio de aumento. La previsión para 2011 parece posible, dado que las reservas de Estados (denominadas estratégicas y sirven para hacer frente a una escasez coyuntural) y los *stocks* de las empresas están a un nivel excepcionalmente alto. Pero cuando analicemos el techo de extracciones veremos que tal abundancia es coyuntural y que la oferta pronto no podrá satisfacer la demanda (Koppelaar, 2010; AIE, 2010).

GRÁFICO 3

OFERTA MUNDIAL DE TODOS LOS LÍQUIDOS

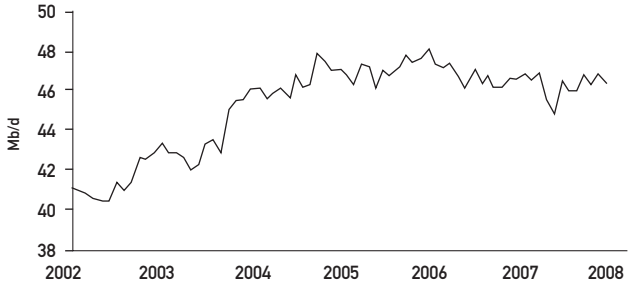


FUENTE: KOOPELAAR (2010, JULIO).

El estancamiento de la oferta agrava el problema de suministro, porque el consumo doméstico de los exportadores crece fuertemente y por ello disminuye el petróleo exportado, como indica el gráfico 4. Los 33 países que bombean más de 100.000 b/d han elevado el consumo del 16% del total mundial a un 17,5% en los cinco últimos años (Brown, 2010). El menguante petróleo exportado no impidió que los países importadores emergentes siguieran su escalada de consumo, porque se redujo el de los países pobres (no pueden importar petróleo caro) y, sobre todo, en la OCDE porque el precio alto destruyó la demanda.

GRÁFICO 4

EVOLUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES MUNDIALES DE PETRÓLEO



FUENTE: KOPPERLAAR (2008).

1.4. LA DEMANDA

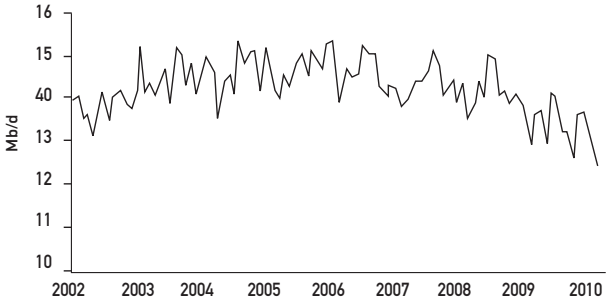
La demanda media mundial en los últimos 27 años creció un 2,0% al año. Pero en 2008 se redujo en 0,3 Mb/d y en 2009 en 2,5 Mb/d. Las previsiones para 2010 y 2011 de la AIE y de la EIA son de fortalecimiento de la demanda. Los países exportadores de petróleo y los países emergentes mantuvieron hasta la crisis económica un ritmo muy fuerte de aumento del consumo, debido a un alto crecimiento económico y unas gasolinas muy subvencionadas. En los del golfo Pérsico existen factores adicionales, como una industrialización basada en industrias muy intensivas en energía y una alta tasa de natalidad. China ha sido responsable de más del 50% del aumento de la demanda en el periodo 2003-2008. La AIE prevé que se mantenga a un ritmo medio anual de 1,2 Mb/d, ajustándose así la oferta y la demanda, y que el 93% del aumento de la demanda se produzca en países No-OCDE y que China absorba el 37% de todo el incremento de la demanda (el

de la India será de un 18%), alcanzando el 22% de la demanda total, frente al 17% actual. Los países del golfo Pérsico tendrán el mayor aumento de la demanda: 2% anual, ratio que parece pequeño al compararlo con el aumento del 6,9% de Arabia Saudí en 2010 (AIE, 2010). Sin embargo, veremos que el techo del petróleo hará inviables tales expectativas de aumento del consumo.

Por el contrario, la caída de la demanda en la OCDE se inició en 2005 y se agudizó en 2008 (-1,87 Mb/d, debido a la crisis y a las políticas de la UE, Japón, etc.). En 2009 se mantuvo la tendencia de caída en el consumo, pero a finales de ese año EE UU inició un ascenso moderado. Pero la UE y Japón seguían reduciéndola en 2010. El gráfico 5 muestra la tendencia europea.

GRÁFICO 5

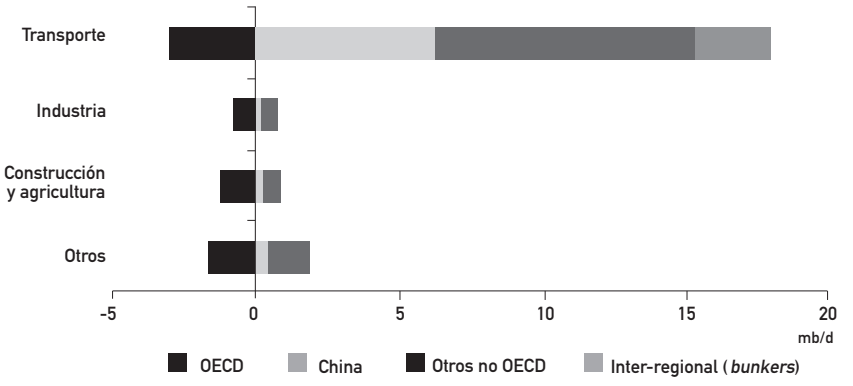
EVOLUCIÓN DEL CONSUMO EN LA UE-27



FUENTE: KOPPELAAR, 2010 (JULIO).

GRÁFICO 6

CONSUMOS DE ENERGÍA PRIMARIA POR SECTOR Y REGIÓN PREVISTOS POR LA AIE, 2009-203



FUENTE: AIE (2010, "NEW POLICIES SCENARIO").

La AIE (2010) prevé que la demanda de la OCDE disminuya en 6 Mb/d entre 2010 y 2035 (lo que supone un ritmo anual de descenso del 0,6%), siendo en el transporte donde se produciría el mayor descenso, en contraste con lo previsto en los países No-OCDE, tal como se muestra en el gráfico 6. Entre los países OCDE los ritmos de descenso varían bastante. El de Japón sería de 1,3% (pasando de un consumo de 4,1 Mb/d en 2009 a 2,9 Mb/d en 2035); el de Europa sería un 0,9% (pasando de 12,7 Mb/d a 10,4 Mb/d); y el de EE UU un 0,8%. El último capítulo de consumo corresponde al transporte interregional.

1.5. LOS PRECIOS

La historia del petróleo del golfo Pérsico tiene tres fases que han sido determinantes en la evolución del mundo: la era de la cartelización y de las concesiones coloniales (1901-1950); el periodo de transición (1950-1972); y la época de la globalización (a partir de mediados de los setenta). En la primera, Gran Bretaña repartía concesiones (a largo plazo, 50 años o más) entre las siete empresas que dominaban el sector. Éstas definían los precios y se repartían el mercado por medio de cuotas. El instrumento regulatorio era el IPC. En la segunda se produce la descolonización; el IPC impuso el reparto de beneficios entre empresas y Estados al 50%. Arabia Saudí, Irán, Irak, Kuwait y Venezuela crearon la OPEP en 1960, con el objetivo de luchar contra el reparto de beneficios impuesto por el IPC. El tercer periodo supone la desaparición del IPC, la nacionalización del petróleo en el golfo Pérsico y la conversión de la OPEP en un oligopolio de oferta con capacidad para fijar los precios (Bina, 2009).

A partir de 2002 se produjo una escalada de precios que se agudizó en el periodo 2004-2008, en un contexto de alta volatilidad, la cual se debe a que existen numerosos factores que hacen oscilar los precios: las previsiones sobre el crecimiento económico; las variaciones de los *stocks*; las variaciones estacionales de consumo; las reducciones de capacidad de extracción por motivos políticos (guerras, sabotajes, huelgas, etc.) o por efecto de fenómenos climáticos (como huracanes en zonas petroleras); etc. Pero solo el creciente desfase entre oferta y demanda explica la excepcional dinámica alcista de los precios en el periodo 2004-2008, que culminó en julio de 2008 con un precio de 147 dólares por barril (159 litros) en la Bolsa de Nueva York (Mearns, 2009; Likvern, 2010).

La fuerte caída de los precios que se produjo entre julio de 2008 y febrero de 2009 alentó a los que habían mantenido que la teoría de la escalada era fruto de

la especulación. Es indudable que los mercados bursátiles son especulativos, como se demuestra día a día, pero lo importante es determinar qué factores fueron más importantes. En primer lugar, la profunda crisis recortó la demanda de todas las materias primas y sus precios se desplomaron. En segundo lugar, los analistas y las autoridades más importantes tuvieron claro que gran parte de la escalada se debió a una oferta escasa. La AIE y Samuel Bodman, secretario de Energía de EE UU, rechazaron reiteradamente que la causa de la elevación de los precios fuera la especulación. Bordman defendió que el factor determinante fue "la incapacidad de los suministradores para satisfacer la demanda" (Coleman, 2008).

De cara al futuro existe un amplio consenso en que el petróleo se encarecerá mucho, por el estancamiento de la oferta y la desaparición de los *stocks* acumulados en 2009 y de la oferta ociosa acumulados durante la crisis. Al aumentar la demanda impulsada por el crecimiento de la economía mundial, se agudizará la escalada de precios, alcanzando cotas superiores a las del pasado. F. Birol, economista jefe de la AIE, afirma que "debemos estar preparados para ver unos mercados muy turbulentos y de altos precios". Ésta es la opinión de numerosos analistas a finales de 2010 (www.bloomberg.com).

1.6. EL TECHO

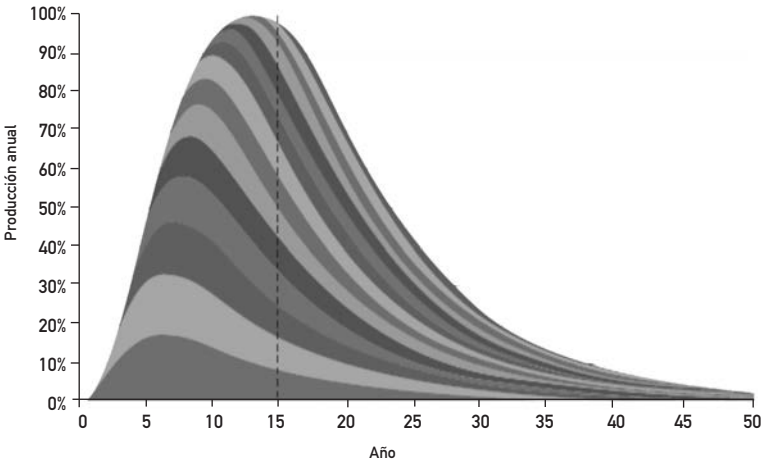
El agotamiento de cualquier recurso depende de dos factores: las reservas existentes y el ritmo de consumo. Pero la geología de los combustibles fósiles (y en especial la del petróleo) añade un factor adicional: el ritmo de extracción. Hay múltiples factores que obstaculizan la extracción de petróleo: está alojado en las grietas de las rocas, impregnando arenas y rocas porosas; los yacimientos pierden la presión inicial, por lo que hay que forzarlo a salir, inyectando agua, gas, etc.; una vez extraído su componente más ligero, va quedando un remanente crecientemente pesado; etc. Estas dificultades determinan que el flujo de extracción alcance un techo y que a partir de él disminuya inexorablemente; y que la mayor parte del petróleo no pueda ser extraído.

Los estudios de M. K. Hubbert (geólogo experto en petróleo que trabajó para Shell a mediados del siglo XX) y la experiencia de décadas de estudio del comportamiento de los países petroleros muestran que las curvas de descubrimientos de yacimientos y de extracciones adoptan una forma de campana y que unas pocas décadas después de que la primera curva alcance el techo lo hace, así mismo, la segunda (que tiene la forma de campana con una cola larga indicada en el gráfico 7). La causa es que un ritmo decreciente de nuevos descubrimientos y un consumo ascendente llevan

inexorablemente al punto en que el petróleo nuevo descubierto es inferior al consumido en un periodo determinado. El techo mundial de descubrimientos de petróleo convencional se produjo en 1964 y el desfase entre petróleo descubierto y consumido empezó en 1981, y desde entonces aumenta y las reservas tienden a agotarse a ritmo creciente. La experiencia muestra que, cuando se ha consumido aproximadamente la mitad del petróleo, el bombeo alcanza el zenit y empieza a bajar hasta el agotamiento. Hubbert acertó a predecir a mediados de la década de los cincuenta que el techo de EE UU se produciría en 1970 (Hemmingsen, 2010).

GRÁFICO 7

CURVA TEÓRICA DE EXPLOTACIÓN



FUENTE: ITPOES (2010)

Para calcular el momento del techo se utilizan diversos métodos: estimar la capacidad futura de extracción de los principales países petroleros; estimar la tasa de agotamiento del conjunto de yacimientos en explotación, los proyectos existentes de nueva explotación y los que se prevé que se encuentren; y el método de crecimiento logístico de Hubbert, que ha sido refinado por miembros de ASPO. Este método se basa en dos premisas: la extracción crece de forma exponencial mientras el agotamiento de las reservas está lejos; cuando el agotamiento se acerca se produce una disminución de las extracciones a un ritmo proporcional al cociente entre las reservas consumidas y remanentes. Se estiman las reservas originarias de petróleo y las consumidas y los datos se introducen en una fórmula, basada en las premisas indicadas, con la que se construye la curva de extracciones y, por tanto, el momento del techo (Hemmingsen, 2010).

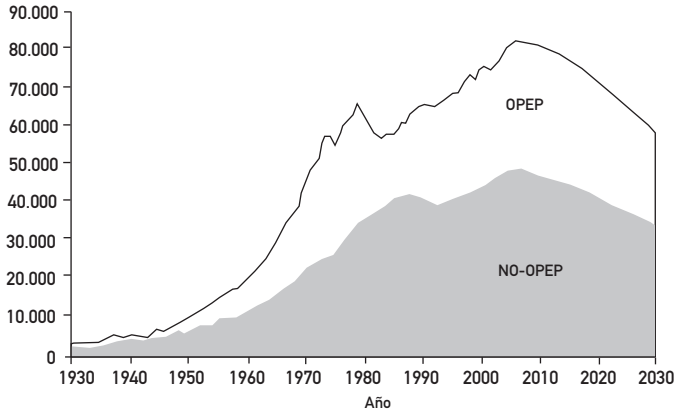
A continuación aplicaremos el primer método, estimando por separado la oferta futura de los países principales OPEP y No-OPEP. La capacidad de bombeo de la mayoría de los países de la OPEP está en declive suave o está estancada (Irán, Kuwait, Emiratos Árabes Unidos, Libia, Venezuela, Ecuador, etc.) y solo unos pocos tienen una clara capacidad de aumento (Angola, Nigeria e Irak). Irak es el único país de la zona que tiene potencial para aumentar mucho su extracción. En 2007 alcanzó su nivel previo a la invasión (2,4 Mb/d), se mantiene desde entonces y permanecerá al menos hasta 2015, según la AIE, debido a la inestabilidad del país. Algunos afirman que tiene un potencial de extracción de 6 Mb/d, pero los analistas más fiables la sitúan en 3-4 Mb/d. Nigeria bombea 2,5 Mb/d de petróleo en situación normal, pero solo alcanza 2,0 Mb/d debido a la guerra civil. Se le considera un potencial de 3,5 Mb/d por un periodo muy corto de tiempo. Angola tiene capacidad de extraer 2,0 Mb/d y puede llegar a 3,0 Mb/d y mantener este nivel durante bastante tiempo. Hay un amplio debate sobre la capacidad de Arabia Saudí. En los últimos años su bombeo ha oscilado en torno a 10,5 Mb/d y, aunque ha declarado su intención de aumentarlo hasta 15 Mb/d en 2012, en 2010 el discurso oficial era que no superará los 12 Mb/d, para alargar la vida de los yacimientos. Pero muchos analistas consideran que solo podrá mantener el primer nivel. El resultado global de la OPEP lo muestra el gráfico 8. Alcanzó su máxima capacidad a finales de la década anterior (unos 34 Mb/d) y se mantendrá unos pocos años en esa cota, para después declinar suavemente y con rapidez a partir de 2020 (Koppelaar, 2010; Eriksen, 2009).

El panorama de los países No-OPEP es peor. Las extracciones del mar del Norte siguen cayendo a fuerte ritmo. Noruega ha pasando de 3,4 Mb/d en 2004 a 2,2 Mb/d en 2010. México pasó de 3,9 Mb/d en 2004 a 2,9 Mb/d en 2008, debido al rápido declive de su yacimiento Cantarell (el segundo del mundo: techo de 2,2 Mb/d), y tiene posibilidades de ralentizar su caída si invierte fuertemente en prospección de nuevos yacimientos. Brasil ha elevado su capacidad de 1,5 en 2005 a 2,0 Mb/d en 2010, cantidad insuficiente para satisfacer su demanda interna. Pero está descubriendo desde 2008 grandes yacimientos a enorme profundidad en el mar que pueden convertirlo en un exportador importante si resuelve sus grandes retos tecnológicos y de costes. Canadá mantiene la misma capacidad entre 2007 y 2010, compensando el declive de petróleo convencional con el de arenas bituminosas. En 2006, de éstas obtuvo 1,2 Mb/d y algunos estiman que puede llegar hasta los 5 Mb/d. Pero Campbell (2006) y Simmons (2006) estiman que su cota máxima está en torno a 2 Mb/d. Por último, tiene particular importancia el comportamiento de Rusia, porque entre 2000 y 2008 aumentó su bombeo de 6 a 10 Mb/d y satisfizo el 40% de la demanda mundial nueva. En 2010 bombeaba ya a 10,4 Mb/d y no se prevé

que lo aumente. Los países No-OPEP alcanzaron el techo en 2005 con 50 Mb/d, tal como muestra el gráfico 8, y, después de una meseta corta, su oferta total está declinando (ASPO Newsletter, 2008; Koppelaar, 2010).

GRÁFICO 8

APORTACIONES DE LA OPEP Y LOS PAÍSES NO-OPEP



FUENTE: ASPO NEWSLETTER (2009 ENERO).

El segundo método (de abajo arriba) calcula los desfases entre oferta y demanda en el futuro a partir de la estimación de los proyectos nuevos y la tasa de agotamiento de los existentes. Pero las estimaciones oscilan entre 4,7% (Skrebowski) y 8% de la consultora Schlumberger, pasando por la AIE (6,7%). C. Nelder (2008) llega a la conclusión, a partir de las opiniones de los ponentes de la Conferencia de ASPO-USA de 2008, de que hay un consenso elevado en el ratio del 5%. Pero *éste* aumenta a medida que los yacimientos avanzan en las fases de declive y C. Skrebowski (2007) estima el crecimiento anual en un 0,1-0,15%. Aplicando la tasa fija del 5% a los 85,5 Mb/d que se alcanzaron en 2008, se llega a la conclusión de que hace falta yacimientos nuevos que aporten 4,27 Mb/d para mantener la oferta. Además hay que satisfacer la demanda creciente y, aceptando la previsión de la AIE de que será un 1,2Mb/d al año, el total ronda los 5,5 Mb/d, lo cual supone descubrir una nueva AS cada dos años.

Vamos a ver que, según los diferentes métodos descritos, muchos expertos (y su número crece rápidamente) consideran que el techo ya se ha producido o que ocurrirá en la primera mitad de esta década. Cuando se inició la meseta en 2005 algunos analistas la identificaron con el techo. Entre ellos se encuentran Simmons (presidente del banco más grande de inversión en energía), al Husseini, Bakhtiari

(ambos directores de prospección y explotación hasta su jubilación de ARAMCO y NIOC, compañías nacionales de Arabia Saudí e Irán), el World Energy Group, etc. Pero otros consideraron que la elevación (puntual) hasta 85,5 Mb/d en 2008 constituyó el techo. Después se redujo la oferta y posteriormente recuperó el nivel anterior; y a mediados de 2010 se mantiene la meseta oscilante en torno a unos 85 Mb/d, como muestra el gráfico 27. Por ello se está ampliando el consenso (como lo demuestra la conferencia de ASPO USA 2010) en que la oferta ha permanecido en una meseta oscilante desde 2005 y en que muy pronto se iniciará el declive. Dos informes del Pentágono (2008, 2010: 28, 29) vaticinan que "una severa crisis energética es inevitable sin una masiva expansión de la producción", porque "para 2012 el excedente de producción de petróleo podría desaparecer enteramente y tan temprano como 2015 el déficit de producción podría llegar a cerca de 10 Mb/d". Esta cifra es muy semejante a la previsión del estudio "Wiki Oil Megaprojets" (WOM), que es una colaboración entre The Oil Drum y Wikipedia para conocer los grandes proyectos petrolíferos futuros, que prevé una caída anual de la oferta de 2,4 Mb/d. El Global Witness, otro grupo de expertos británicos, ha emitido un informe en el que alerta que para 2015 faltarían 7Mb/d. Un estudio del ejército alemán, después de describir diferentes previsiones del techo, afirma que es posible que nos encontremos en el techo (Eriksen, 2009; CGAT, 2010; *Petroleum Review*, octubre 2009).

Pero hay muchas estimaciones que retrasan un poco el techo, por lo que citaremos algunas. C. de Margerie (presidente de Total) expresa dudas de que se puedan alcanzar 90M/b (ASPO Newsletter, 2008 marzo). En 2008 Chatham House, un reputado *think tank* británico, publicó un estudio previendo escasez de petróleo en 5 o 10 años. Los informes del Pentágono de 2008 y 2010 mantienen la afirmación reseñada anteriormente. Un grupo británico de empresas transnacionales emitió un informe en el que preveían el techo para 2011-2012 y en 2010 otro en el que lo retrasan un poco (debido a la crisis): entre 2012 y 2015. La American Association of Petroleum Geologists celebró a finales de 2006 una conferencia (sin acceso de los medios de comunicación) en la que participaron las principales empresas de hidrocarburos del mundo y llegaron al consenso de que el techo de extracciones estaba en la banda de 90-100 Mb/d. Esta previsión es defendida, también, por el BGR (Instituto Alemán de Recursos Naturales) y el Consejo Mundial de la Energía (CME) (*Petroleum Review*, octubre 2009; IPTOES, 2008, 2010).

Por último, la AIE incurre en constantes contradicciones. Hace dramáticos llamamientos a dejar el petróleo por su escasez y, por el contrario, publica informes en los que el techo aparece a medio-largo plazo. La razón es que, aunque tiene una idea clara de la gravedad de la situación, debe presentar informes optimistas para no disgustar a EE UU (Macalister, 2009). Pero en cada informe anual se va acercando más

a la realidad. El WEO2004 situaba el techo en 121 Mb/d; el WEO2008 lo rebajó a 104 Mb/d y el WEO2010 lo sitúa en 99 Mb/d en 2035. Además, afirma que el techo del crudo se alcanzó en 2006 en 70Mb/d y que desde entonces su bombeo se ha reducido a 68-69 Mb/d. Pero estos datos no concuerdan con los tintes dramáticos de los informes. El WEO2008 afirma: "El sistema energético mundial está en la encrucijada. Las tendencias de producción y consumo son manifiestamente insostenibles [...] El tiempo de actuar es ahora". El WEO2010 afirma que "el mundo de la energía encara una incertidumbre sin precedentes" y se pregunta si "el techo del petróleo será un invitado o el espectro de la fiesta" (EIA, 2008, 2010).

1.7. FACTORES LIMITANTES EXTRAGEOLÓGICOS

Hasta aquí nos hemos centrado en la geología del petróleo, pero la capacidad de extraer se ve limitada por muchos factores extrageológicos: económicos, ambientales, tecnológicos y políticos, que pueden reducir las reservas explotables o retrasar su explotación. Los elevados costes de extracción y transporte del petróleo o del gas de un yacimiento pueden impedir su explotación. Hay una estrecha correlación entre la elevación de la temperatura en las aguas y la severidad de los huracanes (la cual se ha duplicado desde la década de los setenta). La mayor parte de los huracanes que han dañado (a veces de forma irreversible) las explotaciones petrolíferas del golfo de México se han producido en la primera década de este siglo. En el periodo 2000-2008 lo han hecho los huracanes *Isidore* (2002), *Ivan* (2004), *Katrina* y *Rita* en 2005, *Dean* (2007) y *Gustav* e *Ike* en 2008. *Katrina* y *Rita* redujeron permanentemente la capacidad extractiva en 0,255 Mb/d (Rubin y Buchanan, 2008). Por el contrario, el calentamiento climático permitirá explotar el Ártico a medida que se deshiele, pero a costa de riesgos ambientales intolerables. Crece la alarma sobre los enormes impactos ambientales previsibles de las explotaciones en el Ártico y en aguas muy profundas. El vertido de la plataforma Horizon (del yacimiento Macondo) en el golfo de México ha producido el mayor desastre ambiental después del de Chernobil y ha mostrado los enormes problemas de este tipo de explotación. S. Bukold (2010) pide que se prohíban las explotaciones ultraprofundas (>1.500 m) porque los vertidos no podrán ser controlados. Pero se puede asegurar que "Macondo aumentará los costes y retrasos de las perforaciones y desarrollos en aguas profundas, aunque no se pueden cuantificar" (ITPOES, 2010*b*).

A medida que se van agudizando las tensiones sobre el reparto de petróleo, aumenta la frecuencia de conflictos armados, los cuales tienen un efecto limitante de las reservas. Cuando EE UU atacó las tropas iraquíes situadas en Kuwait,

éstas se retiraron prendiendo fuego a gran parte de los yacimientos, que estuvieron ardiendo durante meses. Los atentados contra los oleoductos son otra muestra de destrucción de recursos. Hay ataques sistemáticos en Irak, México y Nigeria. Carecer de capacidad de inversión por guerras (Irak y Nigeria) o estar sometidos a un bloqueo económico (Irán) retrasa la capacidad de explotación.

Por otro lado, el proceso de nacionalización del petróleo, que sigue imparable, lleva al debate sobre cuál es la mejor gestión de los recursos, fenómeno que se conoce como nacionalismo de los recursos. Esto es particularmente pertinente en países con poca población y grandes recursos (como Canadá, Noruega o Venezuela). Y normalmente la conclusión es ralentizar la explotación para alargar la vida de los recursos. El Parlamento noruego rechaza aumentar el ritmo de extracciones de gas. En Canadá la revisión del acuerdo NAFTA de libre comercio se ha convertido en el centro del debate político por la cláusula que le obliga a exportar a EE UU petróleo y gas, a pesar de que sus reservas se están agotando. El rey de Arabia Saudí multiplica sus declaraciones sobre la necesidad de limitar la extracción para dejar petróleo para poder satisfacer las necesidades futuras (www.peakoil.net; www.thegulfonline.com).

El desarrollo tecnológico ha permitido explotar yacimientos que en un principio no se podía, como ocurre con los yacimientos marinos a gran profundidad. Esta realidad nadie la discute, pero existe un debate sobre si el desarrollo tecnológico está permitiendo aumentar la proporción de petróleo extraíble de los yacimientos en explotación. Aunque son muchos los que lo afirman, los geólogos más importantes consideran que lo único que consiguen es extraer la misma cantidad de petróleo, pero a más velocidad, acelerando así el agotamiento de los yacimientos. Otros estiman que aumentan la extracción, pero solo en la fase final de la explotación.

En la gran mayoría de los proyectos de nuevos yacimientos se producen grandes retrasos en la puesta en explotación, que alcanzan en algunos casos más de cinco años. El Thunder Horse (golfo de México) se puso en explotación en 2008, con cuatro años de retraso. Estaba previsto que el Kashagan (Kazajstán) entrara en explotación en 2005, pero se va retrasando y la última previsión es para 2012-2013. De los 32 proyectos de nuevos yacimientos o de expansión de existentes que debían entrar en explotación en 2006, solo 12 lo lograron. Una de las causas de estos retrasos es la enorme complejidad de muchos de los nuevos proyectos (Konyrova, 2008). La crisis económica ha retrasado o suspendido *sine die* muchos de los proyectos de explotación más caros.

Por último, existe una fuerte escasez de plataformas de prospección y de explotación que retrasa los proyectos. La mayor parte de las infraestructuras son muy antiguas. Simmons (2006) estima que el 90% han sobrepasado el

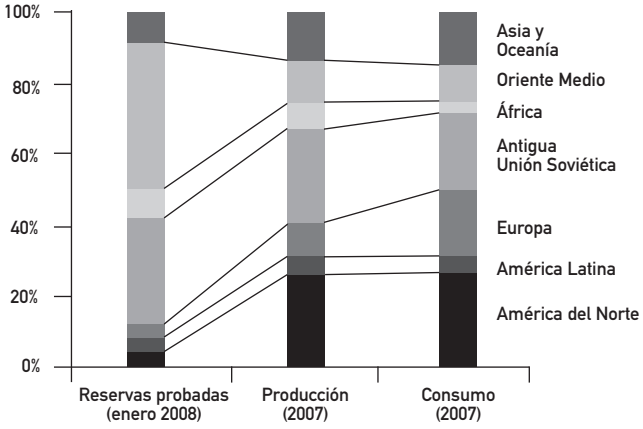
periodo de vida para el que fueron diseñadas, por lo que prevé frecuentes averías que limitarán cada vez más su uso. En el caso de los oleoductos prevé una reducción de capacidad de hasta un 50%. Hay también una gran escasez de personal cualificado, lo que se traduce en una aguda competencia entre las compañías por el personal. Un estudio de Cambridge Energy Research Associates (CERA) calcula que la edad media de los ingenieros es de 51 años y que el ritmo anual de jubilación es del 6%, por lo que se jubilará el 50% para 2015. El flujo de entrada anual es solo del 2%. El resultado neto será una disminución del 10-15% para 2010 (CERA, 2007). Esta situación es la consecuencia de muchos años de petróleo barato, lo cual llevó a las empresas a ahorrar costes.

2. EL TECHO DEL GAS NATURAL

Al igual que en el caso del petróleo, también nos encontramos que hay gas convencional y no convencional (procedente de yacimientos de carbón, de pizarras, etc.). El gas natural convencional se encuentra en yacimientos propios o en combinación con el petróleo. Se considera que el 9% se consume en la extracción, tratamiento y transporte. Además, se despilfarra. Cuando los yacimientos de petróleo pierden presión, emiten hidrocarburos ligeros, formados por gas natural y líquidos (gas natural líquido). A éstos se les recupera (condensa) en plantas, y el gas sobrante se inyecta en el yacimiento para mantener la presión o se quema *in situ*. Esto se produce sobre todo en Nigeria y en las explotaciones rusas del este. El BM estima que anualmente se queman 150.000 metros cúbicos de gas en el mundo, lo que equivale al 30% del consumo de Europa y al 5,5% del mundial. Este despilfarro de gas se debe a que se prima el petróleo porque es más caro. Además, se utiliza gas para extraer petróleo ultrapesado y de arenas bituminosas. Las reservas están concentradas en un pequeño número de países y de yacimientos, tal y como muestra el gráfico 9. Los tres principales países gasistas (Rusia, Irán y Qatar) tienen el 56% de las reservas convencionales del mundo. Por eso es creíble la afirmación de Gazprom (compañía estatal rusa) de que para 2025 solo los tres primeros podrán exportar. Unos pocos yacimientos masivos acaparan gran parte de las reservas. El mayor yacimiento de gas contiene el 15% (North Dome, que comparten Qatar e Irán) de las reservas totales. Ghawar, el mayor yacimiento de petróleo, solo aporta el 8% del total. En el gráfico 9 destaca el enorme desfase entre reservas y consumo de Norteamérica y Europa (Gobierno Federal, 2008: 24).

GRÁFICO 9

RESERVAS PROBADAS, PRODUCCIÓN Y CONSUMO POR REGIONES



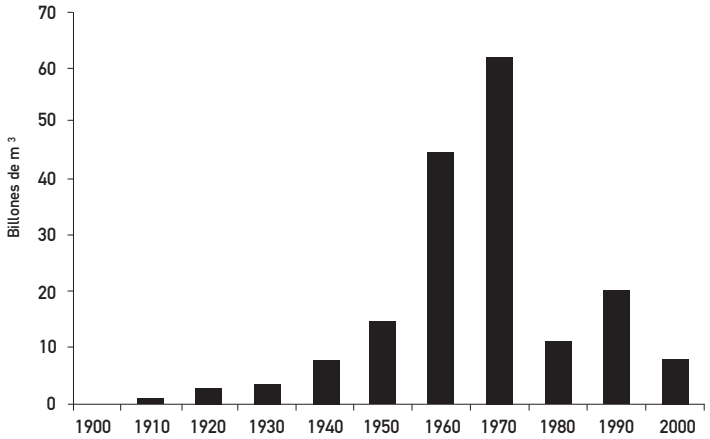
FUENTE: KOBAYASHAKI (2010: 3).

Al igual que en el caso del petróleo, nos encontramos con techos de nuevos descubrimientos y de extracciones de gas. En el gráfico 10 se ve que los nuevos descubrimientos de gas convencional se concentraron en las décadas de los sesenta y setenta, siendo en esta última década cuando se produjo el techo de descubrimientos. A partir del techo se produjo un desplome de nuevos descubrimientos. Y desde 2000 el gas consumido supera al descubierto y el desfase no cesa de aumentar. Debido a la gran fluidez del gas natural, la curva de extracción de un yacimiento típico presenta al inicio de la explotación una pendiente muy fuerte, luego una meseta, cuya longitud está determinada por la limitación de transporte que impone el diámetro de los gasoductos y las reservas del yacimiento. Pero, al terminarse la meseta, las extracciones se desploman. Los gobiernos nunca prevén los techos, ni la fase de declive, así que sus previsiones no se cumplen, lo cual genera problemas de abastecimiento. Con el agravante de que construir las infraestructuras necesarias para importar resulta costoso y lleva mucho tiempo. Para importar por tierra hay que construir normalmente largos gaseoductos, dada la alta concentración del gas en el mundo. Si no es posible, se utiliza el barco, pero hay que licuarlo en origen (se pierde el 12% de la energía) y regasificarlo en el lugar de destino.

El consumo de gas mundial ha venido creciendo un 2,2% al año, pero, debido a la crisis, en 2009 se redujo en un 3%. Las regiones Europa-Euroasia, Norteamérica y Asia-Pacífico consumen el 82,3% del gas total. EE UU consume el 26% y Rusia, el 15% aproximadamente. La AIE ha venido alertando en sus informes

GRÁFICO 10

NUEVOS DESCUBRIMIENTOS EN BILLONES DE METROS CÚBICOS



FUENTE: [HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/PEAK_NATURAL_GAS].

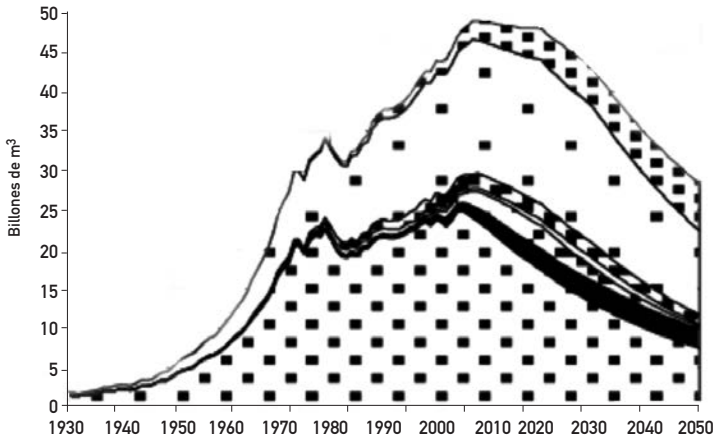
anuales "Natural Gas Market Review" anteriores a la crisis de la incapacidad en un futuro próximo de la oferta para satisfacer la demanda. La causa aducida, como en el petróleo, es que se invierte en el desarrollo de nuevos yacimientos muy por debajo de lo necesario para satisfacer la demanda, que es una excusa para no aceptar el techo. Pero ha cambiado su discurso al asumir el optimismo sobre el gas de pizarras del Gobierno de EE UU y ampliarlo a Asia. En el WEO2010 prevé que el consumo crezca al ritmo anual de un 1,4%, de forma que en 2035 habrá aumentado un 44%, aportando el gas no convencional el 35% del total. El consumo chino crecerá al ritmo del 6% y absorberá un quito de la demanda nueva (AIE, 2009*b*, 2010).

Pero estas previsiones no se cumplirán por el proceso de aproximación al techo y por el mismo fenómeno, tal como prevé C. Campbell. El gráfico 11 muestra que el techo de petróleo coincide con el conjunto del mismo y del gas, aunque el de éste se retrasa hacia el final de la década.

En EE UU se está produciendo un desarrollo espectacular del gas de pizarras. Aunque este hecho solo le haya acercado al autoabastecimiento, porque consume el 26% del total mundial. EE UU alcanzó el techo de gas convencional en 1973 y se mantuvo en una meseta algo más baja que el techo y, debido al aumento de consumo, los precios se dispararon en la década anterior. El panorama ha cambiado en los últimos años con el desarrollo del gas de pizarras y es tal el optimismo generado que se llega a firmar que hay gas para cien años. Por el contrario, muchos expertos discrepan de este triunfalismo y alegan múltiples problemas y exageraciones: la vida de los

GRÁFICO 11

TECHO CONJUNTO DE PETRÓLEO Y GAS



FUENTE: CAMPBELL (2009), ASPO NEWSLETTER Nº 100, ABRIL.

yacimientos es más corta de lo previsto (un tercio solo dura cinco años); tal situación genera incertidumbre sobre la oferta futura; se están explotando los yacimientos mejores y, a pesar de ello, los costes están por encima de los precios de mercado; los impactos ambientales son severos; etc. Al ser el gas extraído más caro que el precio del mercado, las compañías tienen pérdidas, pero continúan las explotaciones por las expectativas existentes. Cuando una zona no ha cubierto las expectativas, las empresas anuncian la inversión en otra, que se supone más prometedora, y obtienen créditos para su explotación. Siguen la actividad porque esperan que las grandes compañías de petróleo las compren, y esto es lo que está ocurriendo. Chevron-Texaco y Exxon compraron compañías en 2010. En principio, parece paradójico que compren empresas ruinosas, pero estas operaciones les suponen costes pequeños y pueden presentar importantes aumentos de reservas (exagerados) en un momento en que están cayendo, ante la dificultad de encontrar nuevos yacimientos. El análisis realizado está siendo confirmado por diversos estudios. Según el Potential Gas Committee, las reservas explotables de gas de pizarras suponen solo la satisfacción del consumo de siete años. Un estudio del Massachusetts Institute of Technology (MIT) concluye que EE UU pronto tendrá que importar de Oriente Medio, porque la oferta de gas de pizarras se estancará hacia el final de esta década, por lo que en veinte años será el segundo comprador de la región (Skrebowski, 2010; Cohen, 2010).

Hasta hace muy poco la inmensa mayoría del gas se transportaba por gasoducto y los contratos de suministro eran a largo plazo, por los enormes costes que suponían.

Pero en los últimos años se han desarrollado muchas infraestructuras de transporte por barco, porque se preveía un fuerte aumento de la demanda de gas líquido. Además, ello provocaría la liberalización del sector, porque extendería mucho el mercado *spot* (contratos en el momento). Pero esta visión no se ajusta a la realidad. Alrededor del 80% del gas comprado por Japón y Corea del Sur se realiza con contratos a largo plazo. Además, se ha producido un estancamiento del transporte por barco. La mayor parte de las plantas regasificadoras de EE UU están paradas por el aumento de la oferta interna. Europa pronto se verá abastecida por nuevos gasoductos rusos. Y se están desarrollando otros muchos gasoductos: entre Canadá y EE UU, Irán y la India, de las antiguas repúblicas soviéticas hacia Asia, etc. Por último, y al igual que con el petróleo, se está produciendo un fuerte aumento del consumo interno y una política de dedicar yacimientos solo para el abastecimiento futuro. Lo hacen Perú, Nigeria, Indonesia, etc. En general, los países del golfo Pérsico y del norte de África se encuentran con dificultades para hacer frente a la demanda interna, por lo que retrasan la construcción de infraestructuras que exigen sus compromisos. Qatar es el único país sin problemas para hacer frente a la demanda interna y cumplir sus compromisos de exportación, pero desde 2005 viene aplicando una moratoria sobre nuevos proyectos de explotación porque le preocupa el futuro y quiere evaluar el estado del yacimiento North Dome. El Parlamento noruego prohíbe aumentar las exportaciones para garantizar el consumo interno futuro. Todo ello supone una limitación de las exportaciones (Skrebowski, 2010; AIE, 2010*a*).

En la UE el gas aporta el 24% de la energía e importa el 40%, que se desglosan en 25% de Rusia, 14,5% del norte de África (Argelia, Libia y Egipto) y un 5,5% de varios países. La demanda interna ha venido creciendo al ritmo anual de 2,5%. La extrapolación de esta tendencia y el paulatino agotamiento del gas noruego llevarían a una dependencia exterior en 2030 del 70-80%. Pero esta previsión es poco probable por el techo del gas y las políticas de la UE: aumento de la eficiencia y desarrollo de las energías renovables. Veremos en el capítulo 13 que la potencia instalada renovable anual supera de forma creciente desde 2008 a la convencional. Pero el consumo de gas seguirá creciendo en el futuro, aunque menos que en el pasado, por lo que la garantía del suministro sigue siendo un problema grave. Por ello la UE, aparte de las políticas indicadas, busca diversificar los suministros, reduciendo la dependencia rusa. Pero Rusia está construyendo dos grandes gasoductos (la Corriente Nórdica, por el Báltico hasta Alemania, y la Corriente Sur, por el mar Negro hasta Bulgaria, y convertirá a Hungría en el centro de distribución) con una capacidad conjunta igual a la de la red actual que se concentra en Ucrania (80% de sus exportaciones, una herencia del régimen soviético que le genera muchos

conflictos). La UE está de acuerdo con la Corriente Norte, pero no con la Sur. En su lugar promueve el gasoducto Nabuco, que pretende traer gas de Oriente Próximo y de Turkmenistán por el Mediterráneo, pero Rusia ha acordado la Corriente Sur con los países europeos involucrados (Mearns, 2010; Vernon, 2010).

Por todo ello se augura que Rusia suministre en el futuro el 60% de las importaciones, pero se especula sobre su capacidad para hacerlo. Se están agotando los tres yacimientos gigantescos que han aportado la mayor parte de la oferta. Gazprom (empresa estatal) ha venido trabajando, sobre todo, en tres proyectos nuevos (Shtokman, Yamal y Sakhalin). El primero se esperaba que entrase en explotación en 2012, pero quedó congelado en 2010. El proyecto Yamal necesita fuertes inversiones, pero se le estiman unas reservas que lo convertirían en el segundo yacimiento del mundo, más de tres veces que el segundo actual, el también ruso Urengoy. El gobierno ruso aprobó una ley en 2007 que pretende poner el precio del gas doméstico al nivel internacional, reducir el gas quemado en los yacimientos petrolíferos y usarlo de forma más eficiente. Su objetivo es aumentar las exportaciones en un 52% para 2015. Pero algunos analistas estiman que Gazprom solo podrá aumentar las extracciones al ritmo anual del 1% hasta alcanzar un techo en el entorno de 2020, y este gas sería absorbido por la demanda interna, por lo que en el mejor de los casos mantendría el nivel de exportaciones actual (Ndefo *et al.*, 2007; Vernon, 2010).

3. EL TECHO DEL CARBÓN

Las reservas de carbón se dividen en dos grupos: de alto (antracita y carbón bituminoso) y bajo (carbón subbituminoso y lignito) poder energético. Su intensidad energética oscila entre 14 y 32,5 Megajulios/kg. Las primeras son un poco menos abundantes que las segundas, tal y como muestra el gráfico 12. Se sabe que están muy concentradas, y se estima que seis países (EE UU, Rusia, China, Australia, la India y Sudáfrica) poseen el 85% de las reservas mundiales de carbón de poder energético alto. Los cuatro primeros también tienen la mayor parte de las reservas de bajo poder. Australia, Indonesia, Sudáfrica y Colombia son los principales exportadores (Kavalov y Peteves, 2007: 11-21; Heinberg y Fridley, 2010).

A partir del 2000 el consumo de carbón ha venido creciendo al ritmo anual medio del 3,8%. Esta tendencia se explica porque ha sido el combustible fósil más barato, por lo que se ha usado mucho en países No-OCDE. El 58% del consumo es para la producción de electricidad y el resto se divide en tres partes semejantes: calefacción de viviendas, producción de cemento y de acero. En los países carboníferos gran parte de la electricidad se produce con carbón: China (79%), Australia (77%),

GRÁFICO 12

RESERVAS POR PAÍSES EN MILES DE MILLONES DE TONELADAS

FUENTE: HEINBERG Y FRIDLEY, 2010.

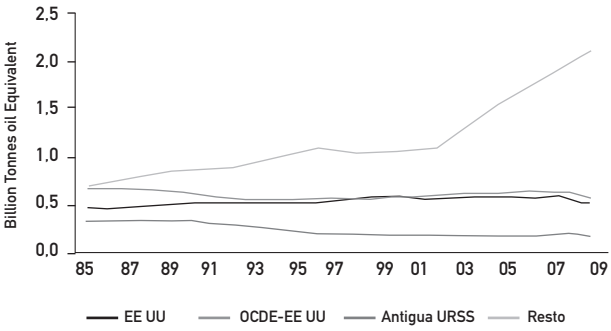
India (68%), EE UU (51%), Sudáfrica (92,4%) y Polonia (94,7%). Rusia es una excepción (17%), debido a la abundancia de gas y petróleo. En seis años (2002-2007) China construyó 500 centrales y la India, 200. EE UU ha venido aumentando lentamente el consumo, pero lo redujo con la crisis. El consumo europeo está estancado, aunque el agotamiento de sus reservas le lleva a aumentar la importación. El gráfico 13 muestra estas tendencias, y el fuerte aumento de consumo del "resto" se debe a China y la India (Oster y Davis, 2008; Mearns, 2010).

E. Mearns (2010) afirma que China se autoabasteció (3.200 Mt) hasta 2009, siendo la India el principal importador. El volumen del carbón objeto de comercio internacional es solo el 5% de los consumos nacionales. EE UU, los países de la antigua URSS. Australia, Indonesia y Sudáfrica exportan 900 Mt. China importa 100 Mt y, según las autoridades chinas, son para crear reservas estratégicas. Pero el panorama es más complejo y puede llevar a corto plazo a un cambio drástico en el comercio del carbón. El consumo chino lleva creciendo al ritmo anual del 10% y es altamente improbable que pueda mantenerlo sin importar masivamente. China puede absorber en tres años todo el volumen de exportaciones de la región Asia-Pacífico y, aunque los exportadores están aumentando su capacidad, el reto de abastecer China resultaría imposible. K. Aleklett, presidente de ASPO, estima que las extracciones aumentan a un ritmo decreciente, como es habitual en las aproximaciones al techo, y que en esta década se alcanzará. Por ello, los analistas prevén un fuerte aumento de los precios del carbón (Aleklett, 2010; Heinberg y Fridley, 2010).

Estudios recientes sobre las reservas de diversos países llegan a la conclusión de que todos muestran reducciones drásticas de reservas en relación con las estimadas anteriormente, exceptuando Australia y la India. Entre 2003 y

GRÁFICO 13

CONSUMO DE CARBÓN EN DIVERSAS PARTES DEL MUNDO



FUENTE: TVERBERG (2010).

2008 se han reducido a un tercio las reservas estimadas de Alemania y Sudáfrica. A principios del siglo a las reservas de EE UU se les estimaba una vida de 5.000 años y actualmente se les estiman 240 años. Otras reducciones destacadas son Bostwana (90%) y Polonia (50%). Un informe de la UE afirma que "el carbón puede en el futuro no ser tan abundante, ampliamente disponible y fiable como fuente de energía" (Kavalov y Peteves, 2007: 36; Heinberg y Fridley, 2010). La Academia Nacional de Ciencias de EE UU (ANC, 2007) afirma que "solo una fracción de las reservas estimadas previamente son actualmente explotables".

Hasta aquí hemos utilizado unidades de peso, que son las más comunes. Pero, como hemos visto al principio del apartado, las diversas clases de carbón tienen grados muy diversos de energía por unidad de peso y la capacidad energética es el dato más interesante. Teniendo en cuenta que se han venido consumiendo primordialmente los carbones mejores, cada vez resulta más necesario utilizar carbón de peor calidad. Todo ello supone que el techo energético del carbón está más próximo que el de peso. Un nutrido grupo de analistas estima fechas del techo energético en torno a 2020. Zittle y Schindler (2007) prevén que el techo se sitúe alrededor de 2025, pero entre 2010 y 2015 el ritmo de aumento de las extracciones irá decayendo, por lo que el carbón pronto se encarecerá. Que es lo que prevén Heinberg y Fridley (2010). M. Höök prevé el techo en 2020, seguido de una meseta de 30 años. Pero Patzek y Croft (2010) consideran que el techo mundial se alcanzará en 2011, el mismo año que China [que es muy próximo al que prevé Aleklett (2010)] y la India, seguidos de Indonesia (2012) y EE UU (2015), tal como muestra la tabla.

TABLA 3

TECHO MUNDIAL DE CARBÓN Y DE LOS PAÍSES PRINCIPALES

PAÍS	EL TECHO (AÑO)	TECHO DE PRODUCCIÓN (EJ)
China	2011	4.015,6
USA	2015	2.756,7
Australia	2042	1.714,5
Alemania/Polonia	1987	1.104,4
URSS	1990	1.070,3
India	2011	862,6
Reino Unido	1913	753,0
Sudáfrica	2007	478,6
Mongolia	2105	279,2
Indonesia	2012	135,5
Techo mundial	2011	13.170,5

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE PATZEK Y CROFT (2010: 3112).

4. DOTACIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Después de haber hecho una evaluación general de las reservas de combustibles fósiles y de su evolución previsible, resulta pertinente ver si el análisis influye en las previsiones del cambio climático. Se ha pasado de una concentración de 280 ppm de CO_2 equivalente antes de la revolución industrial a 380 ppm en la época actual, y su ritmo de acumulación se acelera. La concentración de metano ha pasado de 715 ppm en el año 1732 a 1.774 en 2005. Estos gases y el resto de los gases de efecto invernadero (GEI) han generado una subida de temperatura mundial de 0,75 ºC y en Europa, de 0,90 ºC en 100 años. La divergencia es debida a que el cambio climático es más acelerado en los polos que en el ecuador. En la última década la temperatura mundial se ha elevado 0,2 ºC. El IPPC estima que las elevaciones medias podrían alcanzar 5-6º a finales de siglo (IPCC, Working Group I, 2007: 3-13).

En 2009 y 2010 proliferaron las críticas al informe, porque se han detectado que muchas conclusiones están basadas en fuentes no fiables. Pero desde principios de la década anterior numerosos expertos han venido criticando que contempla (basándose en las estimaciones de Rogner, autor muy poco relevante) unas dotaciones exageradas de combustibles fósiles y que, en consecuencia, también lo es su previsión de subida de temperatura. En 17 de los 40 escenarios que contienen los consumos de combustibles fósiles en 2100 serían superiores a los actuales. El

IPCC estima en 11-15 Bbpe las reservas de combustibles fósiles. Por el contrario, la agencia alemana de recursos las sitúa en 2,7 billones de barriles de petróleo equivalente (Bbpe), BP en 3,2 Bbpe y el Consejo Mundial de la Energía en 3,5 Bbpe. En seguida de la publicación en 2000 del *Special Report on Emissions Scenarios* empezaron las críticas. Laherrere (2001), Campbell y Silvertsson (2003), Kharecha y Hansen (2006), Energywatch Group (2007), Rutledge (2007) y Höök *et al.* (2010). Kharecha y Hansen llegan a la conclusión de que la concentración de CO_2 máxima alcanzable en el siglo XXI sería de 580 ppm. Rutledge estima, asumiendo unas reservas de 3,2 Bbpe, que se alcanzaría en 2070 el nivel máximo de 460 ppm. Ello provocaría un aumento de temperatura de 0,8 ºC en 2100. Además, las emisiones de otros gases y la deforestación la elevaría en un grado más: 1,8 ºC en total, lo que supondría 2,6 ºC al añadir el aumento ya alcanzado. La UE quiere limitar el aumento de emisiones a 450 ppm, porque considera que con este nivel se limitaría el cambio climático a 2 ºC. Por último, Höök *et al.* (2010: 24) llegan a la conclusión de que las proyecciones del IPCC "son exageradas y también las emisiones resultantes".

Diversos estudios corroboran la opinión de Rutledge sobre la importancia de la gestión de los bosques y del suelo. Un informe de la Universidad Nacional de Australia concluye que los bosques naturales absorben tres veces más CO_2 de lo que se opinaba hasta ahora. Estima que la deforestación ha sido responsable del 35% de la acumulación histórica de CO_2 y lo es del 18% de las emisiones anuales (Perry, 2008). Un informe para la Comisión Europea estima que la tierra tiene doble CO_2 que la atmósfera y tres veces más que la vegetación, y que el mal uso de la tierra (y en especial de las turberas) provoca enormes emisiones de CO_2. Por lo que recomienda conservar el suelo agrícola y una agricultura próxima a la ecológica (utilización de maquinaria ligera, arado superficial, etc.) (Alterra *et al.*, 2007).

CAPÍTULO 11

TRANSFORMACIONES PREVISIBLES DE LA CIVILIZACIÓN INDUSTRIAL POR EL FIN DE LA ERA DE COMBUSTIBLES FÓSILES

Un sistema colapsa cuando no puede reproducirse al perder o quedar muy debilitadas sus funciones básicas, y pierde su identidad. Las civilizaciones son sistemas complejos, por lo que sus dinámicas no pueden predecirse. Asombra que civilizaciones y regímenes colapsaran rápidamente, cuando un poco antes parecían estables. El Imperio romano se desintegró en pocas décadas; no era previsible el fin de la dinastía borbónica en Francia, ni el del régimen soviético. Los antropólogos más relevantes (Tainter, Diamond, Greer, etc.) consideran que gran parte de las civilizaciones desaparecieron porque fueron aumentando su grado de complejidad, que crecía para resolver problemas con rendimientos decrecientes, lo cual provocaba un aumento cada vez mayor del consumo de recursos naturales. Parecía que la civilización industrial había superado las limitaciones históricas, debido al acceso a energía fósil abundante. Sin embargo, existe ya una escasez de recursos estratégicos (combustibles fósiles y materiales). Así que estamos a las puertas del colapso de la civilización industrial.

En este capítulo analizaremos en primer lugar los conflictos geoestratégicos provocados por el reparto de los combustibles fósiles, porque han influido y lo continuarán haciendo en el devenir de las sociedades. Posteriormente estudiaremos los cambios que provocó la escalada de precios que surgió en la década pasada en la economía mundial, en las estructuras económicas y en algunos sectores productivos. Por último, el apartado 3 versa sobre el escenario postecho más probable.

1. LA LUCHA GEOESTRATÉGICA POR EL CONTROL DE RECURSOS ENERGÉTICOS ESENCIALES

La competencia es el mecanismo privilegiado del sistema económico de mercado, pero a menudo se convierte en confrontación cuando se trata del control de recursos, como lo demuestra la historia del siglo XX y de principios del XXI, en el que las guerras preventivas de la presidencia de Bush para controlar los recursos alcanzó el apogeo del intervencionismo estadounidense. Por encima de los intereses estratégicos de cada país, el fuerte crecimiento de las principales economías de Asia está generando un pulso gigantesco con las potencias occidentales por los recursos del golfo Pérsico, de Rusia y del mar Caspio. Analizaremos a los principales actores del juego geoestratégico.

EE UU: Las abundantes reservas de petróleo de EE UU fueron un elemento decisivo en su estatus hegemónico a partir de la Segunda Guerra Mundial. Antes de la crisis económica de 2008-2009 consumía más de la cuarta parte del petróleo mundial (más de 21 Mb/d, importando un 60%), a pesar de que solo cuenta con el 5% de la población mundial. Desde que en 1970 alcanzó su techo del petróleo ha venido diseñando una política destinada a garantizar el suministro por todos los medios. En 1980 el presidente Carter dejó clara esta política ante la amenaza de desestabilización del golfo Pérsico por la revolución jomeinista: "Cualquier intento por parte de una fuerza exterior de lograr el control del golfo Pérsico será considerada como un asalto a los intereses vitales de Estados Unidos de América, y tal asalto será repelido por todos los medios necesarios, incluyendo la fuerza militar". Su estrategia de seguridad energética ha estado dirigida a controlar los principales países petroleros y las mayores rutas de abastecimiento. Reagan empezó esta política con la creación del "Comando Central", una estructura militar para garantizar el acceso al golfo Pérsico. Después redesplegó sus ejércitos para controlar las principales rutas marítimas, retirándolos de los escenarios de la "guerra fría" (el Atlántico norte, el Mediterráneo y el Pacífico noroeste). En la actualidad, y aparte del golfo, domina el Pacífico suroeste y el golfo de Guinea (por el petróleo de Angola y Nigeria). Bush adoptó la política de guerras preventivas que culminó con las invasiones de Afganistán e Irak. Además, se propuso el aislamiento de Rusia para que no resurgiera (Klare, 2008).

Sin embargo, estas políticas no dieron los resultados deseados. La invasión de Irak provocó una resistencia que logró mantener la extracción de petróleo por debajo del nivel de antes de la guerra. Y pasarán muchos años antes de que pueda resolver los conflictos internos y explotar sus recursos a pleno rendimiento. Las

maniobras para desestabilizar el régimen iraní mediante represalias económicas no han dado resultado. Rusia y China están invirtiendo en este país. En 2008 se llegó a un acuerdo para construir el gasoducto de Irán-Pakistán-India, a pesar de la fuerte presión estadounidense sobre Pakistán para que desistiera del proyecto.

Al principio consiguió éxitos importantes en su política de cerco a Rusia. La mayor parte de los países del Este europeo (Polonia, Chequia, Hungría, Estonia, Lituania, Letonia, Bulgaria, Rumanía, Eslovaquia y Eslovenia) entraron en la OTAN y muchos de ellos albergan bases estadounidenses. Logró poner en su órbita a Azerbaiyán, Georgia, Moldavia y Ucrania. Estos cambios dieron lugar a modificaciones de los trazados de proyectos de oleoductos y gasoductos adecuados a su estrategia. En 2005 logró la terminación del oleoducto que permite sacar el petróleo de Azerbaiyán por el puerto turco de Ceyhan, pasando por Georgia. Pero desde 2005 ha sufrido numerosos reveses en esta zona (que explicaremos más adelante) y una pérdida de influencia en Latinoamérica, con la subida al poder de gobiernos populistas y la nacionalización consiguiente de los combustibles fósiles. EE UU no pudo evitar la escalada de precios del petróleo e, incluso, su política en el golfo Pérsico la agudizó. Además, su política intervencionista es inviable desde el punto de vista energético y presupuestario. En la guerra del Golfo de 1991 el consumo energético por soldado fue de 15 litros de petróleo al día (l/d). En Irak el ratio ha subido hasta 40 l/d y las guerras preventivas necesitarían unos 240 l/d. Estos datos llevan a un informe del Pentágono a declarar que la estrategia bélica de EE UU es inviable (Klare, 2007, 14/06/07; Brown, 2009: 17). Por todo ello, cada vez resulta más evidente que su liderazgo se debilita. Lo reconocen, por ejemplo, el National Intelligence Council (2008) y el National Oil Council (2007). Éste afirma que "muchos de los cambios esperados podrían elevar los riesgos para la seguridad energética de EE UU, en un mundo donde probablemente su influencia decline a medida de que el poder económico se desplace a otras naciones".

RUSIA: Desempeña un papel clave en el futuro energético ligado a los combustibles fósiles por sus enormes reservas de petróleo y de gas natural. Fue responsable del 40% del incremento de la oferta mundial de petróleo en 2000-2008, es el segundo exportador de petróleo y el primero de gas. Durante la era Yeltsin se expolió el enorme patrimonio de recursos naturales del Estado ruso, y especialmente los combustibles fósiles, reprimiendo violentamente toda oposición, y todo ello con el beneplácito de Occidente. Putin revirtió buena parte del camino recorrido por Yeltsin, recuperando el control estatal de la mayor parte del petróleo y del gas mediante las compañías Gazprom y Rosneft. Gazprom posee el 90% del gas y monopoliza las exportaciones. Rosneft controla la mayor parte de las reservas de petróleo (Weir, 2007).

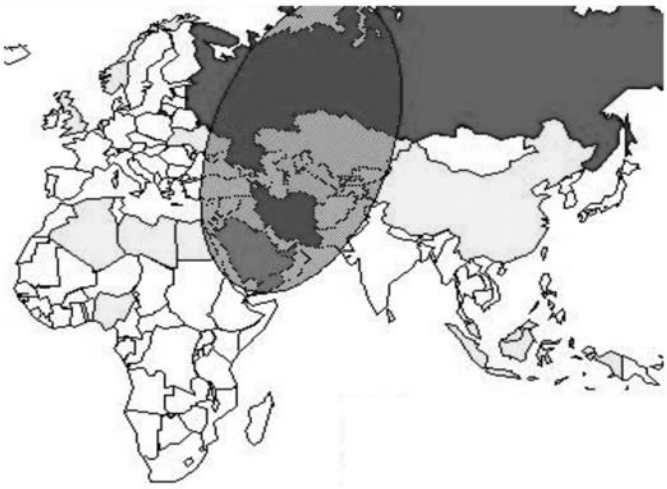
Además, intensifica los acuerdos de cooperación con las antiguas repúblicas soviéticas para mantenerlas en (o recuperarlas a) su órbita. También, trata de mantener su control sobre el transporte hacia Europa de gas y petróleo de las repúblicas asiáticas, frente a los intentos de la UE de lograr contratos con ellos para diversificar su aprovisionamiento. Su principal arma para defender sus intereses es el gas natural. Pero tiene la enorme debilidad de que sus redes de exportación de gas a Europa se encuentran en Ucrania (80%) y Bielorrusia, y es una herencia soviética: no consigue ponerles el precio internacional; no suelen pagar sus deudas; desvían más del gas contratado para revenderlo; y cuando Rusia les corta el suministro, ellos consumen su cuota, detrayéndola del flujo hacia la UE. La elección de un gobierno pro ruso en Ucrania en 2010 facilitará las relaciones entre ambos. Rusia necesita vender el gas a Europa, porque el mercado interior consume más de 2/3 del total y a precios por debajo de costes. Está llegando a acuerdos con varios países europeos para la construcción de infraestructuras de transporte de gas y de petróleo que no pasan por países hostiles. Además, diversifica su clientela con múltiples contratos de venta a países asiáticos (China, la India, Japón, etc.) (Le Vine, 2009).

UE: La UE importa el 54% de la energía que consume, y esta situación empeora rápidamente, porque decrece la aportación interior. El consumo de petróleo de la UE-25 era en 2008 unos 15 Mb/d e importaba alrededor del 80% (considerando el petróleo noruego como aportación interior). Se estima que las extracciones de petróleo de Noruega, Gran Bretaña y Dinamarca decrecen por encima del 8% al año. Rusia viene suministrando el 32% del petróleo. El panorama del gas natural europeo es muy semejante al del petróleo. Importa el 61%. Así que su vulnerabilidad energética es muy grande.

A su favor cuenta con que a 5.000 Km del centro de Europa se localiza una zona que contiene el 70/80% de las reservas mundiales de petróleo y gas, tal como muestra el gráfico 1, lo que facilita el logro de alianzas estratégicas que garanticen los suministros. Los Estados miembros están de acuerdo en diversificar las fuentes de importación, reduciendo la dependencia de Rusia, pero no hay consenso sobre la política que se debe seguir con ese país. Se enfrentan un grupo (liderado por Alemania y que aglutina a países del oeste) que defiende una política exterior dialogante con Rusia con otro (liderado por Gran Bretaña y que cuenta con muchos países del este) que quiere una política de confrontación. Y ello a pesar de que Finlandia, Eslovaquia, Bulgaria, Rumanía y Hungría dependen al cien por cien del gas ruso, y Austria, Polonia, Grecia y Chequia en un 80% [Mearns, 2008; SEC (2008) 2794].

GRÁFICO 1

ELIPSE ESTRATÉGICA QUE CONTIENE ALREDEDOR DEL 70% DE LAS RESERVAS DE GAS Y PETRÓLEO



FUENTE: CGAT (2010).

El resultado de la confrontación interna de la UE es que cada país defiende sus intereses. En los últimos años se han aprobado proyectos de gasoductos y oleoductos entre Rusia y múltiples Estados de la Unión. Alemania y Rusia están construyendo un gasoducto por el mar Báltico (la Corriente Norte), que evita los países enfrentados con Rusia. Rusia ha llegado a acuerdos con Bulgaria, Hungría y Austria para construir un gasoducto (Corriente Sur) por el mar Negro hasta el primer país y de él al resto. Hungría y Austria serán centros de distribución de Europa Central. Este gasoducto tendrá desde Bulgaria una desviación a Grecia e Italia.

CHINA: En China el carbón suministra alrededor del 70% de la energía y el 79% de la electricidad. Pero las necesidades de petróleo y gas natural crecen rápidamente. Hasta 1993 fue autosuficiente en petróleo, pero en 2003 se convirtió en el segundo país importador, creciendo sus compras al ritmo anual medio de alrededor del 10% y su consumo interno en un 6%. Su máxima prioridad es el acceso al petróleo y al gas natural del mundo, pero sabe que llega tarde al reparto y que en este campo la política predomina sobre el mercado. Aparte de promover diversos proyectos de oleoductos y gasoductos con las antiguas repúblicas soviéticas, refuerza su presencia en África (el 30% de sus importaciones) y en Latinoamérica. Ha llegado a acuerdos con Rusia, Kazajstán (un oleoducto transporta 200.000 b/d entre

Kazajstán y China), Irán (en 2007 firmaron un enorme contrato de venta de petróleo y gas natural), Sudán, Angola, Venezuela, Brasil, etc. En 2009 acordó invertir en torno a 40.000 M$ en Rusia, Brasil y Venezuela a cambio de contratos de suministro (Le Vine, 2009).

EL FUTURO PREVISIBLE

Resulta altamente probable que la progresiva escasez de combustibles fósiles (y en especial del petróleo) agudice extraordinariamente la confrontación por el control de ellos que históricamente se ha producido. O'Reily, presidente de Chevron-Texaco, describe con precisión esta dinámica: "Estamos viendo los comienzos de una disputa por los suministros del golfo Pérsico entre el este y el oeste [...] y el desplazamiento del centro de gravedad hacia Asia y, en particular, hacia China e India" (www.boston.com/news). El Pentágono viene realizando análisis periódicos sobre el impacto de la crisis energética y pretende ser el instrumento una vez más para garantizar el uso de energía escasa. El último afirma: "En los próximos 25 años, las fuerzas armadas de EE UU estarán continuamente involucradas en alguna dinámica combinación de combate, seguridad, [...] ayuda y reconstrucción [...] Habrá siempre oponentes que tratarán la estabilidad política y negarán el libre acceso a los recursos mundiales que son cruciales para la economía mundial" (Pentágono, 2010). Le preocupa especialmente que sea posible que el "arco de inestabilidad" (desde el norte de África hasta el sudeste asiático) se convierta en el "arco del caos" si una nación consumidora interviene militarmente, y más concretamente el estrecho de Hormuz (transitan 17 Mb/d), el de Malasia (15Mb/d) y el canal de Suez (4,5 Mb/d) (Pentágono, 2010: 4, 27, 28). El ejército alemán considera que se multiplicarán los conflictos por el control de los recursos y que se centrarán en la que llama "elipse estratégica", antes comentada. Pronostica la proliferación de sabotajes en las infraestructuras de transporte de estos recursos y hasta posiblemente guerras por su control. El sector más impactado por la crisis será el transporte, por lo que prevé una "crisis de movilidad" y la necesidad de que se racione el reparto de combustibles. La mayor parte del petróleo se distribuirá internacionalmente en función de acuerdos entre gobiernos. Las instituciones internacionales se debilitarán porque los gobiernos priorizarán la solución de sus problemas. Estima que la crisis durará 15-30 años. Urge al gobierno a comprender la gravedad de la amenaza y a actuar con rapidez, empezando con un estudio de vulnerabilidad. Y propone que a largo plazo el ejército utilice solo energía renovable (CGAT, 2010).

2. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS ECONÓMICOS PRODUCIDOS POR LA PASADA ESCALADA DE PRECIOS DEL PETRÓLEO

2.1. LA CIVILIZACIÓN INDUSTRIAL NO ESTÁ PREPARADA PARA AFRONTAR LA CRISIS QUE HA PROVOCADO

La escalada de precios del petróleo y de las otras materias primas más importantes que se dio en la década pasada y que duró hasta 2008 ha agravado extraordinariamente la crisis económica que se inició en ese año, hasta el punto de que se la considera la más grave, al menos, desde la Segunda Guerra Mundial. Sin este factor habría sido uno de tantos ciclos cortos depresivos del pasado. Y para muchos es el primer aviso del colapso de la civilización industrial que provocará la manifestación clara de haber alcanzado el techo del petróleo. La magnitud del impacto del techo va a depender del ritmo de superación de la crisis (uno lento retrasa el impacto), de la escasez del gas natural y de materiales estratégicos, de la adopción o no de políticas transformadoras por parte de los gobiernos, etc. Pero la recuperación es lenta y los cambios, escasos. Hay una muy alta probabilidad de que el techo del petróleo se haya alcanzado y una menor de que suceda en la primer mitad de la década presente. Por ello resulta evidente que ya no queda tiempo para realizar una transición ordenada y tranquila.

Y hay que tener en cuenta que las sociedades en crisis no suelen comportarse de forma racional. Era evidente que el Imperio maya y la sociedad de la isla de Pascua colapsarían si las elites seguían enzarzadas en luchas por el poder, marginando el problema central: la disminución de la producción de alimentos. Esto no quiere decir que las elites ignoren los problemas, sino que (dentro de un amplio abanico de percepción de la magnitud de los mismos) se buscan soluciones que no pongan en cuestión su estatus. Por ello, este momento histórico se caracteriza por una enorme confusión. Ello nos lleva a la conclusión lógica de que es imposible resolver los problemas con el mismo paradigma que los ha creado. Por ello la superación de la crisis del techo obliga a poner en cuestión las bases de la civilización industrial: la estructura de poder, el papel del desarrollo científico-técnico del mercado, etc.

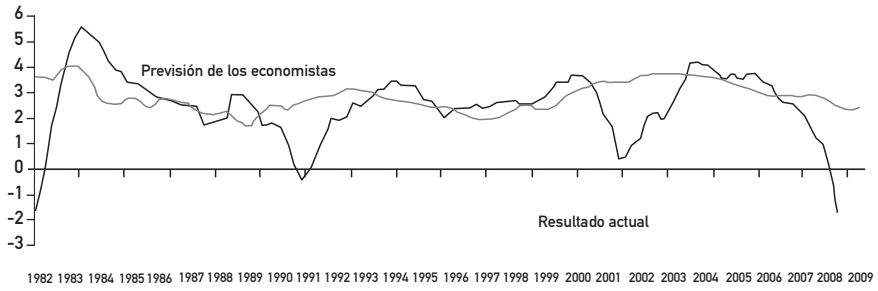
Desde finales de la década anterior se están poniendo en marcha políticas de cambio, generalmente en un contexto altamente confuso, debido a que, al mismo tiempo que se desarrollan políticas de cambio (como la promoción de las energías renovables y el transporte colectivo), se mantienen enormes subvenciones a las energías convencionales, a la industria del automóvil y al transporte por carretera. Muchos gobiernos saben que el techo del petróleo está

próximo o que ya ha sido alcanzado, pero consideran que tal admisión perjudicaría sus intereses políticos, por lo que promueven la lucha contra el cambio climático. El hecho de que este problema se agravará mucho más tarde, les permite realizar cambios energéticos de forma mucho más lenta, menos dramática, pero manifiestamente insuficientes para prevenir el colapso del techo.

El carácter prepotente y triunfalista del paradigma dominante en relación con el desarrollo científico-técnico y el papel de la liberalización es un gran obstáculo para atajar escaseces de recursos. Los economistas ortodoxos se muestran incapaces de entender (y por tanto de prever) la dinámica del sistema económico. Tal como muestra el gráfico 2 nunca prevén las crisis, a pesar de ser recurrentes. Además, su receta de aumentar la competitividad es contradictoria con la necesidad declarada de promover la cooperación internacional. Argumentan que no hay escasez de recursos, porque cuando aparece crece el precio de un recurso y disminuye la demanda, lo que incentiva la inversión en nuevas prospecciones, lo que resulta en un incremento de la oferta y en una bajada de precios. Pero, tal teoría está siendo invalidada por la realidad.

GRÁFICO 2

PREVISIONES DE LOS ECONOMISTAS Y REALIDAD SOBRE LA EVOLUCIÓN DEL PIB DE EE UU



FUENTE: COHEN (2009).

La economía ortodoxa tampoco entiende la realidad más concreta. Mantiene que el encarecimiento del petróleo deprime la economía, por lo que el petróleo barato es una condición ineludible para el crecimiento económico. A medida que el precio fue creciendo en el periodo 2002-2008, se multiplicaron los avisos por parte de las instituciones financieras de que esta situación provocaría inflación y disminución del crecimiento económico. Proliferaron los estudios econométricos que *demostraban* determinadas reducciones del PIB en función de escenarios de encarecimiento. Por ejemplo, la OCDE y el FMI

afirmaban que un aumento de 10 $/b durante un año reduciría el crecimiento de la economía mundial en 0,60 puntos. Por el contrario, la fuerte escalada de los precios coincidió con un alto crecimiento de la economía mundial y sin inflación destacable. En 1999 el precio del petróleo se triplicó y el incremento del consumo fue el mayor en diez años. En 2004 el barril llegó a superar los 50 dólares, pero la economía mundial logró un crecimiento del 4,8%, el mayor en quince años, y la demanda de petróleo creció un 4%. En 2005 el barril se encareció un 45% y se produjo un crecimiento del 4%. En 2006 la economía mundial creció un 3,7% y el petróleo se apreció un 20%. Así que un petróleo caro no frena el crecimiento, pero esta premisa tiene límites, como nos indica la experiencia histórica (Vernon, 2008).

Ésta nos muestra que un crecimiento explosivo del precio del petróleo provoca crisis. Debido al inicio de la guerra árabe-israelí, entre octubre de 1973 y Navidad el precio del barril subió de 3 a 11,65 dólares (de la época). La guerra entre Irak e Irán provocó que en 1980 el precio subiera a 35,69 dólares (unos 102 dólares de 2008) (Murphy, 2009). En estos casos se produjeron inflaciones elevadas y estancamiento económico. La escalada del petróleo del periodo 2002-2008 provocó inflaciones elevadas y una fuerte reducción de capacidad de gasto y de inversión en los países OCDE debida a los pagos de petróleo. Cuando el barril alcanzó los 135 dólares, a EE UU le costaba (extrapolado a un año el consumo de petróleo) un billón de dólares (un 15% de los ingresos fiscales) (Korowicz, 2010: 11). A finales de 2007 empezó a repuntar la inflación, llegando en países OCDE hasta cotas del 5-6% en 2008. Los bancos centrales reaccionaron con la receta habitual: elevando el tipo de interés. Esto provocó el encarecimiento del crédito, al cual se le unió un descenso de rentas por la elevación de la factura del petróleo. Ambos factores provocaron el colapso de la burbuja inmobiliaria que se producía en la OCDE y que había iniciado ya su declive. Los cuales provocaron a su vez el del sistema financiero a finales de 2008, aquejado de múltiples problemas estructurales, algunos de ellos provocados por el delirio neoliberal, aunque otros son inherentes al capitalismo. Así que la crisis iniciada en 2008 no es solo de tipo financiero, "sino que fue un síntoma de una crisis más grande, una crisis energética" (Rubin, 2009b, 01/06). Muchos autores respaldan este análisis: J. Hamilton (2009), Murphy (2009, 16/04), L. Kilian (2009), etc. Así que lo que pudiera haber sido una crisis suave, la escalada del petróleo la convirtió en la crisis más grave habida desde la Segunda Guerra Mundial. Pero la gran mayoría de los gobiernos no asocian la crisis con el petróleo, por lo que buscan solo la salida de la crisis y pierden un tiempo precioso para tomar medidas que mitiguen el impacto de la próxima crisis energética.

2.2. CAMBIOS ESTRUCTURALES

Sistema financiero

La banca privada genera la inmensa mayoría del dinero mediante la concesión de préstamos, que aparece en soporte informático: en las cuentas de los clientes suscriptores de los mismos. Éstos hacen frente a los pagos mediante transferencias a otras cuentas, tarjetas de crédito, cheques, etc., que constituyen elementos de la masa monetaria. Los bancos centrales siguen emitiendo moneda, pero ésta solo representa una fracción muy pequeña (en torno al 3%) de la masa monetaria. Cada préstamo que se concede produce una cascada de nuevos préstamos, porque buena parte de este dinero no se suele gastar inmediatamente, sino en pagos escalonados, y parte de él va a otras cuentas del banco. Así que la generación de dinero y el crecimiento económico están determinados por el aumento constante del endeudamiento. En una economía que crece, el aumento generalizado de rentas permite que la gran mayoría de los deudores hagan frente a sus obligaciones financieras. Es un sistema basado en la confianza en el crecimiento perpetuo. Pero cuando la economía deja de crecer el sistema colapsa. En este contexto los bancos restringen el crédito de forma drástica, dejando de prestar y de obtener fondos en el mercado interbancario (como tradicionalmente lo hacen para mantener su liquidez), porque se produce una gran desconfianza sobre la solidez del resto del sistema.

Se ha venido afirmando que la debilidad del sistema financiero se encontraba en la esfera internacional, ya que carece de instituciones capaces de regular un mercado caracterizado por sus excesos especulativos. Y, por el contrario, a escala nacional existen instituciones que regulan los mercados y evitan los excesos. Además, las empresas certificadoras informarían al mercado sobre la solvencia de las empresas y el valor de los activos financieros. Pero esto ha resultado no ser cierto. En el delirio neoliberal algunas potencias desregularon sus sistemas financieros y realizaron políticas fiscales que alentaban los procesos especulativos. Tradicionalmente han coexistido dos tipos de bancos: los comerciales y los de inversión. Los primeros tienen un elevado número de clientes que depositan sus ingresos (bien sean salarios, pensiones o beneficios, principalmente de PYMES) y con estos fondos prestan dinero. Es un negocio que genera un moderado margen de beneficio y es bastante seguro, porque la banca conoce la situación financiera de sus clientes. Los bancos de inversión organizan grandes ventas de acciones, títulos de deuda pública y gestionan las fusiones y adquisiciones de empresas. Es un negocio mucho más arriesgado, pero en el que se obtienen

beneficios mayores. La separación de ambas entidades parecía razonable, porque en el caso de la banca mixta, si la división de inversión realiza una gestión equivocada, la división comercial se vería forzada a ofrecer préstamos a las entidades involucradas. EE UU, líder del proceso de desregulación del sistema financiero, anuló en 1999 la ley que separaba ambas bancas, que había sido aprobada durante la Gran Depresión, y redujo fuertemente el ratio de capital que debía mantener en reserva la gran banca de inversión, aumentando así los fondos disponibles para su negocio, pero también los riesgos. Por último, el gobierno Bush decretó una rebaja de impuestos a las rentas más altas. De esta forma se premiaba a los especuladores. Además, las agencias de certificación no pueden ser objetivas, porque viven de los pagos de los clientes. Este proceso determinó que la banca comercial fuera reduciendo su negocio tradicional y que actuara cada vez más como una banca de inversión. Este proceso supuso un encarecimiento y una reducción del crédito a las PYMES, a las microempresas y a la población (Paris, 2009).

El proceso descrito creó el caldo de cultivo del enorme desarrollo de la especulación que acabó con el colapso del sistema bancario. Los bancos sabían que la política especulativa era arriesgada, pero la mayor parte de ellos se vieron arrastrados a aplicarla porque los que empezaron con ella cosechaban grandes beneficios y corrían el riesgo de que los absorbieran. Este panorama es descrito por el Banco Internacional de Pagos (BIS, 2007: 7) como "irracionalmente exuberante" y lo explica como una tendencia natural: "Parece existir una tendencia natural en los mercados a que los éxitos pasados conlleven un aumento de la asunción de riesgo, del apalancamiento de la financiación, de los precios, de las garantías y, con ello, que se asuma más riesgo". Y alertaba del alto riesgo de colapso del sistema financiero. Vaticinio, compartido por muchos autores, que se ha cumplido, aunque la magnitud del colapso haya sido tan grande que pocos lo previeron, debido a la falta de transparencia del sistema financiero. La crisis provocó la quiebra de muchos bancos y los gobiernos les inyectaron enormes fondos públicos para reflotarlos y devolver así la confianza en el sistema bancario, que es un requisito imprescindible para su funcionamiento. Pero esta política supone la privatización de beneficios y la socialización de las pérdidas (Stiglitz, 2009; Paris, 2009).

El carácter especulativo del sistema financiero y su alta volatilidad están determinados por las ingentes masas de fondos que buscan maximizar su rentabilidad en los mercados internacionales. Lo cual tiene repercusiones negativas. Los productos financieros alcanzan cotizaciones muy superiores a su valor real en épocas de bonanza. Este despegue del sector financiero de la economía real produce periódicas crisis bursátiles y colapsos financieros. Citaremos algunas recientes. Se produjo una aguda crisis financiera en el sudeste asiático a finales de la década de

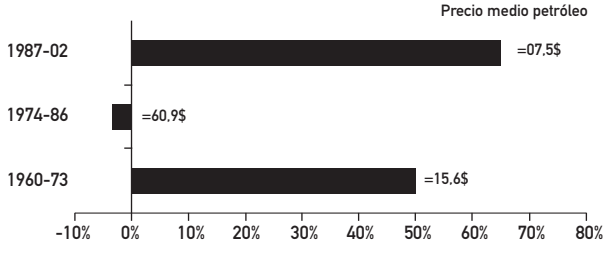
los noventa provocada por la retirada masiva, y en tiempo récord, de los *inversores* internacionales. A principios de 2000 se produjo otra crisis financiera provocada por la especulación sobre las empresas informáticas (la llamada economía *dot-com*). Desde 2003 los precios de casi todos los activos financieros habían mostrado una tendencia al alza prácticamente constante. Y ni el inicio del proceso de declive del sector inmobiliario ni la fuerte escalada del precio del petróleo evitaron que a finales de 2007 las bolsas alcanzaran máximos históricos.

Comercio

Históricamente un fuerte y prolongado encarecimiento de los combustibles ha tenido un efecto depresivo del comercio, especialmente del internacional a larga distancia, y de recanalización del mismo hacia el comercio regional, tal como muestra el gráfico 3. En el periodo 1960-1972 el indicador de exportaciones en relación con el PIB mundial creció un 50% y más de un 60% en el periodo 1987-2002. En ambos periodos el petróleo era muy barato y se redujeron los aranceles. Por el contrario, en el periodo 1974-1986 vemos que, a pesar de que el PIB mundial creció al ritmo medio anual del 3,5%, el indicador anterior permaneció inalterado, debido a la fuerte escalada del precio del petróleo. También se produjo una disminución del comercio a larga distancia. En el periodo 1966-1973 la distancia media del comercio aumentó en un 30%, pero en el periodo 1974-1986 el comercio de largo recorrido disminuyó un 30%. Entre 1973 y 1980, periodo en el que la subida nominal del barril fue un 400%, la proporción de importaciones a larga distancia (de Asia y Europa) a EE UU cayó un 32%, mientras que el comercio regional (Latinoamérica) se incrementó un 30% (Rubin y Tal, 2005, 2008).

GRÁFICO 3

RATIO DE EXPORTACIONES MUNDIALES EN RELACIÓN CON EL PIB GLOBAL



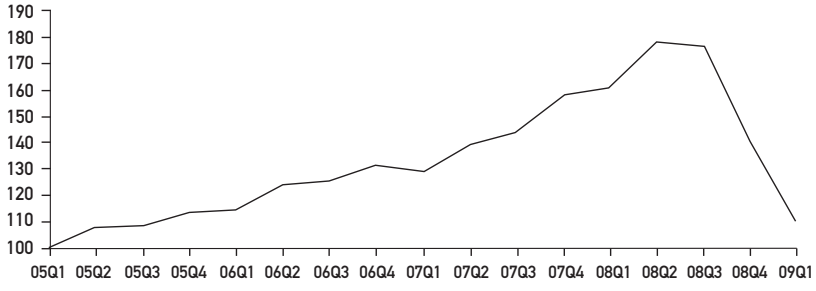
FUENTE: RUBIN Y TAL (2008).

Por otro lado, el *velo monetario* impide ver la realidad una vez más. Al menos hasta 2007 el comercio mundial siguió creciendo aparentemente con gran fuerza. Según la OMC, en 2006 el PIB mundial creció un 3,7 % (el segundo más alto desde 2000) y el comercio mundial lo hizo en un 8%, siendo el de mercancías más del 9%, descontando la inflación. Sin embargo, en términos físicos se estancó el comercio de combustibles fósiles y metales, aunque en términos monetarios fue el segmento de comercio que más creció, debido a su encarecimiento. La escalada de precios del petróleo y la consecuente crisis provocó el desplome del comercio medido en valor mercantil a partir del tercer trimestre de 2008, según muestra el gráfico 4. La OCDE muestra que en la década pasada se produjo un creciente despegue entre el comercio en términos de valor mercantil y en peso, que crece mucho menos, al menos hasta 2005, último año contabilizado (WTO, 2007; OCDE, 2009: 5).

El análisis del comercio equiparando los costes de transporte a aranceles clarifica más el efecto de los precios del petróleo sobre el mismo. En 2000, cuando el barril estaba a 20 dólares, los costes del transporte equivalían a un arancel del 3% para EE UU. En 2008 equivalían a un arancel del 9%, con 130$/b. A 150$/b el arancel equivalente es del 11% y a 200$/b el arancel se pone en los niveles de principios de los sesenta, cuando apenas había empezado el proceso liberalizador. Cada aumento de la distancia de 10%, los costes de transporte suben un 4,5%. Estos ratios explican la reducción del comercio a larga distancia de las mercancías con un ratio peso/precio elevado, como son los de productos siderúrgicos, electrodomésticos, calzado, maquinaria industrial, etc., que se produjo en 2008. Éstos son productos típicos de las exportaciones chinas, por lo que este comercio se redujo. En 2004 suponían el 52% de las exportaciones chinas a EE UU y en 2008 bajaron al 42%. Estos hechos produjeron un fuerte aumento de la producción autóctona de los productos y de las importaciones de los países limítrofes, como México y los del Caribe (Rubin y Tal, 2008).

GRÁFICO 4

EVOLUCIÓN DEL COMERCIO MUNDIAL 2005-2009



FUENTE: [WWW.WTO.ORG].

Sistema Monetario Internacional

Uno de los pilares de la supremacía de EE UU es que el dólar es la divisa hegemónica en el comercio internacional. El sistema monetario implantado después de la Segunda Guerra Mundial lo convirtió en la divisa mundial, pero era convertible en oro, aunque de forma restringida (solo los gobiernos podían exigir oro a cambio de dólares). Al principio nadie estaba interesado en hacer tal intercambio, dada la fortaleza del dólar, motivada por la pujanza de la economía estadounidense y su poderío militar. Pero el debilitamiento posterior de su economía dio lugar a una creciente sangría de oro, por lo que el presidente Nixon decretó la no convertibilidad en 1971, lo que supuso que EE UU adquiriera el privilegio de pagar sus deudas fabricando dólares y sin contrapartidas. Además, al ser la divisa de reserva, su volumen debe crecer para facilitar el aumento de las transacciones. Esto se consigue teniendo una balanza de pagos deficitaria, así que lo que es un problema para el resto del mundo, para EE UU es una necesidad de su papel monetario. Aunque es evidente que tal poder tiene límites, ya que un déficit exterior grande y prolongado lleva a la inundación de dólares en el sistema económico mundial, y por ello a su desvalorización, que se ve agudizada por carecer del respaldo en oro. Así que en 1971 empezó a depreciarse más rápidamente que en el pasado, por lo que en la OPEP aparecieron posturas a favor de vender el petróleo en divisas más estables. Además, cuando en 1973-1974 se cuadruplicó su precio, Alemania, Francia y Japón pretendieron comprar petróleo con sus propias monedas, ante el peligro de agotamiento de sus reservas de dólares. Ambos movimientos fueron abortados por EE UU. En 1975 logró un pacto con Arabia Saudí por el cual EE UU se comprometía a sostener el régimen saudí a cambio de que vendiera el petróleo en dólares y mantuviera su precio bajo. La OPEP se vio forzada a aprobar la medida. Después, todos los órganos de gobierno estadounidenses han defendido por todos los medios el papel del dólar. La maniobra supuso que los países importadores de petróleo tuvieran que aprovisionarse de dólares y que los países exportadores se vieran obligados a mantener la solidez del dólar, especialmente invirtiendo en este país, drenando así dólares del mercado mundial. Este flujo permite, además, sufragar el déficit presupuestario, porque parte de la inversión es en títulos de deuda pública, y mantener artificialmente bajo el tipo de interés. Este *ciclo virtuoso* evitaba el colapso de su economía. En los treinta años posteriores a 1971 las reservas mundiales de dólares aumentaron en un 2.500% (Jones, 2005; Engdahl, 2006).

Sin embargo, la hegemonía del dólar y la política de EE UU de depreciarlo mediante el mantenimiento de un tipo de interés bajo, como medio de reducir su crónico déficit de la balanza de pagos, va en contra de los intereses del resto del

mundo: los exportadores de petróleo y gas ven que tal política reduce sus ingresos; los Estados que exportan a EE UU se ven obligados a alinear sus monedas con el dólar para no dañar sus ventas; y la volatilidad del dólar perjudica al resto del mundo. Los tipos de interés bajos agudizan las tensiones inflacionistas en economías en fuerte expansión, como las del golfo Pérsico o China. Una muestra del debilitamiento del dólar es que en el año 2000 un euro se cambiaba por 0,82 dólares y en la primavera de 2008 por 1,60 dólares (Jonsson, 2008). Aunque para 2010 el dólar se haya apreciado mucho por la crisis y por la debilidad de la economía europea, EE UU sigue con su política de mantener baja su cotización.

Este panorama lleva a que los países desarrollen mecanismos de defensa. Los países exportadores de combustibles fósiles tienden a prescindir del dólar mediante las siguientes actuaciones: venta de los combustibles en otras monedas; disminución de la inversión en EE UU; sustitución de las inversiones en dólares por otras nominadas en monedas distintas; y disminución por parte de sus bancos centrales de la cantidad de dólares de sus fondos de reservas. Algunas de estas tendencias las comparten la mayor parte de los países de la OCDE y los emergentes. Crece el número de países que han decidido vender petróleo y gas en monedas distintas al dólar, algo que les suele resultar fácil a los países del golfo Pérsico, porque la mayor parte de su comercio es con la UE (30%) y Japón. En 2008 Irán anunció que había eliminado el comercio en dólares. Venezuela, Ecuador, Emiratos Árabes Unidos e Indonesia están siguiendo con dispar intensidad esta política. Pero, aunque todos quieren sustituir el dólar, las discrepancias están en la forma y en el momento de iniciarlo. La creación de mercados de hidrocarburos a partir de otras monedas es un factor más de debilitamiento del dólar. El Gulf Cooperation Council (GCC) creó en 2009 una bolsa de hidrocarburos (Dubai Mercantile Exchange) que transacciones en su moneda común. Rusia venderá el gas en euros a los países destinatarios del gas de los nuevos gasoductos, Irán rechaza el dólar y Qatar también quiere hacerlo. Así que el mercado gasista tiene una fuerte deriva hacia esta moneda (White, 2009).

En general, los países exportadores de hidrocarburos mantienen grandes *stocks* de esta moneda, lo que les obliga a mantener la paridad de sus monedas con ella. Pero esta política genera fuertes tensiones inflacionistas. El problema se agravó cuando a principios de 2008 EE UU bajó mucho su tipo de interés en un intento de paliar el daño del estallido de la burbuja inmobiliaria, lo que multiplicó la inflación en el golfo Pérsico, alcanzando los dos dígitos en algunos países. Qatar y Rusia vienen reduciéndolas desde hace varios años. Pero Irán, Venezuela y Siria hace tiempo que se desprendieron de los dólares. También, la desvalorización del dólar presiona a los bancos centrales de todo el

mundo a desprenderse de dólares, aunque esta tendencia es aún moderada. A pesar de ello, el porcentaje del dólar en las reservas oficiales de monedas a escala mundial bajó del 70,9% en 1999 al 64% en 2008 (http://en.wikipedia.org).

Por último, la situación mundial en la que EE UU impuso el Sistema Monetario Inernacional (SMI) actual hace más de 50 años ha cambiado drásticamente. Entonces era el primer país extractor de petróleo, uno de los principales exportadores de energía y alimentos y acaparaba el 80% del oro del mundo. Ahora es el país más endeudado, el que más energía importa y tiene una reserva de oro menor. En 2009 tuvo un déficit de 1,4 billones de dólares (11,2% del PIB) y la deuda acumulada era de 5,4 billones (Fergunson, 2010). Por ello actores principales del mundo financiero claman por el cambio del SMI. J. Stiglitz (Nobel de Economía) afirma que el sistema actual es "relativamente inflacionista, inestable e injusto" y pide su sustitución (UN News Service, 10/09/09). El prestigioso Bank for Internacional Settlements (BIS, 2007: 6) afirma que "el dólar sigue siendo claramente vulnerable a una pérdida de confianza repentina del sector privado". Y el petróleo es un factor clave del cambio. El SMI internacional basado en el dólar y sin respaldo del oro es lesivo para el mundo y solo se explica por el hecho de que EE UU aún conserva restos del liderazgo del pasado que aún son suficientes para mantener este "privilegio extraordinario", según un informe del Pentágono. Por lo que "cualquier actuación que vaya contra la hegemonía del dólar representa, de facto, una declaración de guerra" (*The Economist,* 10/11/05). Pero crece el clamor por el cambio de sistema. Lo han pedido la Comisión sobre la Crisis Financiera Mundial de la ONU, el presidente del FMI, China, Rusia, Francia, Japón, la India, Brasil y el Gulf Cooperation Council. Pero estos países van más lejos: los medios de comunicación informan de que durante el otoño de 2009 se reunieron secretamente para acordar otro SMI (JOE, 2010: 19).

2.3. EFECTOS SECTORIALES

Industria

Durante la primera escalada del petróleo del siglo XXI se pudieron constatar varias tendencias en el sector industrial: un desplazamiento de las industrias intensivas en energía de países OCDE hacia los países exportadores de petróleo y gas; la reducción de la longitud de las cadenas de producto; un extraordinario desarrollo de la industria de producción de sistemas captadores de energías renovables; un renacimiento de la producción en algunos sectores industriales en los países OCDE como consecuencia del encarecimiento de los costes de transporte de bienes con un bajo ratio de valor comercial y peso; el

declive de las empresas productoras de vehículos de carretera y de aviones; el fortalecimiento de las empresas de construcción ferroviaria, naval y de autobuses. Algunas de estas tendencias se mantienen en la crisis subsiguiente.

Durante el periodo de 1985-1999, de petróleo extremadamente barato, se desarrollaron cadenas de producto mundiales, por los bajos costes del transporte. Un ejemplo típico es que las fases más intensivas en trabajo se realicen en Asia y el resto, en Europa y EE UU. La escalada del petróleo redujo en gran medida tales desplazamientos y abortó proyectos. En 2008 Tesla Motor (empresa pionera del coche eléctrico) anuló un proyecto en el que las baterías se construirían en Tailandia. En 2008 las exportaciones chinas a la UE y a EE UU se redujeron por los costes del transporte. Lo mismo se podría decir de componentes de automóvil, prensas, muebles, etc. Ikea construyó en 2008 su primera fábrica de muebles en EE UU (Rubin y Tal, 2008; Rohter, 2008).

Se viene intensificando la inversión en los subsectores de industria pesada y química básica en el golfo Pérsico, debido a los precios bajos de la energía. En esta región la capacidad de producción de etileno (la principal materia prima de la industria petroquímica) aumentó en 7 millones de toneladas en diez años y se espera que crezca hasta 32 millones a principios de esta década. También, las empresas trasnacionales de la industria metálica buscan en el golfo Pérsico energía barata. ALCAN está construyendo una planta de aluminio en Arabia Saudí que producirá 2 millones de toneladas para 2016. Un consorcio malayo ha llegado a un acuerdo con el gobierno saudí para invertir 30.000 M$ en plantas de producción de aluminio, acero, cobre, etc. Dubal construye en Dubai otra planta de aluminio que llegará a producir 1,4 Mt/año. Pero algunos países empiezan a dar pasos hacia una economía pospetróleo. Es conocido el proyecto de la ciudad de Masdar de Abu Dabi, que, aparte de usar solo energía solar, pretende convertirse en un centro mundial de desarrollo tecnológico de la misma mediante una Universidad y un Centro Tecnológico especializados en ella. La fuerte oposición que ha generado el modelo industrial saudí llevó a que el gobierno decidiera en 2009 la creación en quince años de seis grandes ciudades que impulsarán la economía del conocimiento (www.odac-info.org).

Se está produciendo un extraordinario crecimiento de la producción de sistemas captadores de energías renovables. A escala mundial ha venido creciendo la potencia instalada de los sistemas principales un 30-60% anual. En 2009 la potencia renovable instalada fue el 47% del total, pero fue mayoritaria en EE UU y en la UE (PNUMA, 2010).

Tal como veremos en el capítulo siguiente, la escalada del petróleo impactó con fuerza en el uso de vehículos de carretera y en la navegación aérea y sumió en una fuerte crisis al sector del automóvil y, especialmente, a las

grandes empresas estadounidenses. La causa fundamental del impacto diferencialmente mayor en EE UU ha sido su incapacidad para renunciar a los modelos clásicos, altamente consumidores de gasolina. General Motors fue la empresa más impermeable a cambiar de política. Ante esta situación que afecta al sector a escala mundial, las empresas buscan salidas provisionales (coches híbridos, eléctricos, etc.), pero las más importantes declaran que su objetivo es el vehículo de pila de hidrógeno. Así que la escasez de petróleo y la falta de una alternativa madura determinan una reducción del tamaño del sector en los países OCDE y el desarrollo de vehículos más eficientes a escala mundial.

Por el contrario, el sector ferroviario muestra signos claros de fortalecimiento a pesar de que la crisis impactó en el tráfico de mercancías en los países OCDE y en Rusia. SCI/Verkehr (2008) prevé un incremento anual del 4,5% en las ventas de tranvías para los próximos cinco años. Alrededor de 300 ciudades han publicado planes de desarrollo o la mejora de líneas de tranvías. Otro estudio de la misma empresa llega a la conclusión de que los mercados ferroviarios crecerán en el periodo 2009-2019 a escala mundial a los ritmos anuales siguientes: 1,5% (viajeros metropolitanos); 2,6% (resto de pasajeros); 3,6% (mercancías). El mayor crecimiento se producirá en Asia, donde prevé que las toneladas-kilómetro aumenten un 69% al final del periodo. En la UE será del 19% en pasajeros durante el periodo considerado (SCI/Verkehr, 2009).

Agricultura

La agricultura industrial utiliza grandes cantidades de energía fósil (sobre todo petróleo) y muchos analistas afirman que su escasez reducirá mucho la producción mundial de alimentos. Lester Brown (2009: 8) afirma que "la triplicación de la cosecha de cereales en los últimos está íntimamente relacionada con el petróleo". Pero será mucho más difícil aumentar la producción mundial "con un petróleo caro y un suministro en declive". El petróleo se utiliza para mover la maquinaria agrícola y bombear agua, en el transporte, en la fabricación de insumos y en la manipulación industrial. El gas se utiliza en la producción de abonos. En EE UU la producción de alimentos supone el 21% del consumo energético total, siendo el resto de los principales capítulos de consumo: 14% transporte; 16% procesado; 7% envasado; 7% restaurantes y 32% refrigeración y preparación doméstica. El total de la energía consumida en la producción se reparte así: 28% en producción de fertilizantes, 7% en irrigación, 34% en combustibles usados por la maquinaria agrícola y el resto en la producción de pesticidas, secado de cereales y la recolección de las cosechas (Lawrence, 2005).

El transporte es el factor que más está aumentando el consumo energético, al alargarse mucho las distancias que recorren los alimentos. Esto ha llevado a la popularización en los países anglosajones del indicador *food miles*, que describe la distancia recorrida entre la granja y el plato. En los países OCDE las distancias medias recorridas por frutas y verduras oscilan entre 1.500 y 2.500 millas (2.500 y 4.000 kilómetros). En Gran Bretaña se incrementó en un 50% la distancia media recorrida en el periodo 1978-1999. El índice de *food miles* aumentó un 15% en los diez años anteriores a 2002. Los alimentos suponen el 25% de las mercancías transportadas en camión. Pero, para poder estimar los consumos energéticos asociados al transporte, hay que tener en cuenta los otros factores de la cadena de producto, como la eficiencia de la producción. Por ejemplo, la carne de cordero criado en pastos naturales en Nueva Zelanda y transportado por barco a Gran Bretaña (18.000 kilómetros) emite cuatro veces menos CO_2 que la de cordero local alimentado en parte con piensos (http://en.wikipedia.org/wiki).

La teoría de que la escasez de petróleo reducirá la producción de alimentos, porque la agricultura industrial es la más productiva, no tiene respaldo empírico. A pesar de que crece la producción mundial de alimentos, la población hambrienta, que cayó a 825 millones en la década de los noventa, se elevó en 2008 a 915 millones y en 2009 a más de 1.000 millones. Numerosos estudios muestran que la agricultura tradicional, basada en el cultivo simultáneo de varias plantas, es con gran diferencia más productiva por unidad de superficie, y que un huerto produce decenas de veces más por unidad de superficie que la agricultura industrial. Una investigación realizada en el Instituto Rodale de Pennsylvania por un equipo liderado por David Pimentel, entre 1981 y 2002. Fue realizada sobre 6,1 hectáreas y utilizaron los sistemas de rotación habituales de cereales y leguminosas en tres modelos agrícolas empleados (monocultivo agroindustrial, agricultura ecológica integrada con ganado y sin ganado). Las productividades fueron semejantes, excepto en casos de sequía, donde la agricultura ecológica fue muy superior, debido a que sus ricos suelos retienen más agua (Brown, 2009).

La agricultura ecológica consume entre dos y siete veces menos energía que la industrial. Y la escalada de los precios del petróleo va a intensificar el ya rápido crecimiento de la superficie dedicada a la primera. En Europa se duplica cada diez años su superficie (7,8 millones de hectáreas (Mh) en 2007) y alcanza el 4% de la superficie agrícola. Los países OCDE monopolizan el consumo, pero los No-OCDE tienen dos tercios de la superficie (sobre todo praderas y áreas de apicultura) (Willer y Klicher, 2009).

3. TRANSFORMACIONES PREVISIBLES DEL SISTEMA ECONÓMICO

3.1. SISTÉMICAS

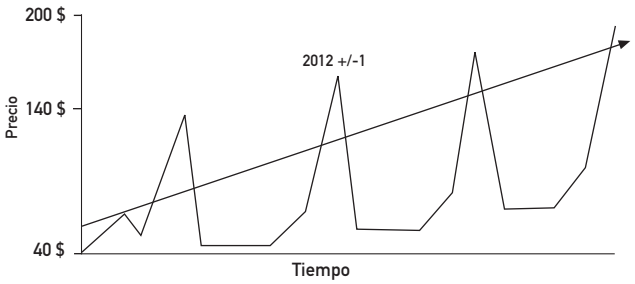
Los estudios sobre los impactos del techo del petróleo se enfocan sobre el efecto en el PIB, en aspectos sectoriales (balanza de pagos, etc.) y aplican premisas lineales, como la curva de declive lineal, que supone impactos proporcionales a los precios del petróleo. Así que carecen de un enfoque sistémico y, dado que el sistema socioeconómico es complejo, la premisa de linealidad resulta totalmente inadecuada (Korowicz, 2010: 30, 31). Sin embargo, resulta imposible concretar la magnitud de las transformaciones que se producirán, porque no se puede prever el momento en que la humanidad comprenderá que se ha alcanzado el techo, el grado de transformación que habrá alcanzado y las interrelaciones entre los elementos del sistema. Por ello solo extrapolo las tendencias que se manifestaron en la escalada de precios anterior.

Tal como hemos visto en el apartado anterior, que el sistema socioeconómico es extraordinariamente vulnerable. Solo funciona con tasas de crecimiento mínimo del 2% en la OCDE y superiores en países emergentes. En 2009, muchos analistas opinaban que China podría enfrentarse con una fuerte contestación social si no alcanzaba una tasa de crecimiento del 8% anual. La razón es que la enorme emigración del campo a la ciudad se podía ver frustrada. Cuando el crecimiento es muy bajo, nulo o se decrece, el sistema financiero colapsa y agrava la situación por la práctica desaparición del crédito, aumentando el desempleo y la contestación social. Pero cuando crece, el sistema se hace más complejo, aumentando así los costes de su gestión, y los beneficios de la complejidad son cada vez más superados por los costes, aumentando su grado de vulnerabilidad (Korowicz, 2010: 24, 32).

El gráfico 5 muestra que las crisis postecho serán del tipo de descenso económico oscilante: una sucesión de escaladas de precios del petróleo, cada vez más cortas y con cotas más altas. A medida que se va superando la crisis actual, los precios vuelven a crecer, por el aumento de la demanda, y superarán la cota anterior, iniciando otra crisis. La cual provocará reducciones del consumo de petróleo, como ocurrió en 1973, 1974, 1983 y 2009. Que se verá agudizada de nuevo por otros factores: escaladas de precios de alimentos y de materiales estratégicos y una gran volatilidad de precios. En teoría el ciclo se volverá a repetir, pero el futuro será más complejo. Parece poco probable que, ante una nueva escalada, no se aceleren las transformaciones.

GRÁFICO 5

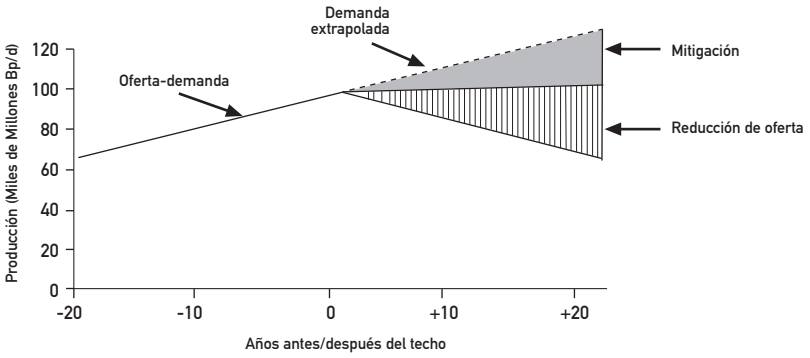
ESCALADAS DE PRECIOS Y CRISIS RECURRENTES EN LA ERA POSTECHO



FUENTE: COHEN (2009): *THE NEXT OIL SHOCK*.

GRÁFICO 6

EL PEOR ESCENARIO DE CRISIS



FUENTE: HIRSH *ET AL.* (2005: 64).

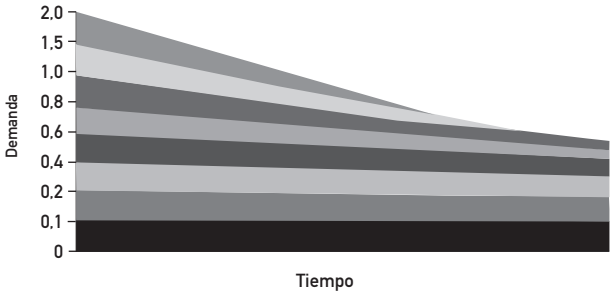
El gráfico 6 muestra dos tipos de reducción del consumo debido una oferta menguante, en el supuesto de que el proceso de sustitución de combustibles se produce en veinte años. A medida que se amplia el desfase entre oferta y demanda, las renuncias de consumo son crecientemente graves. El triángulo superior (el de mitigación) indica la magnitud del ahorro de petróleo que se puede conseguir sin medidas traumáticas. Pero representa menos de la mitad de la reducción obligada del consumo. El triángulo inferior muestra que las medidas anteriores no serán suficientes, por lo que habrá que recortar el consumo de productos y de servicios fundamentales.

Estos dos tipos de consumo se manifiestan en forma de una gradación continua en el gráfico 7. Se ordenan las elasticidades del consumo en relación

con el precio de más a menos (entre 0,1 y 2,0). Un ejemplo de elasticidad alta al precio es la reducción del uso del coche en poblaciones que disponen de transporte colectivo eficiente. Pero, a medida que sigue subiendo el precio, se van reduciendo actividades cada vez más esenciales (electricidad, actividad industrial, transporte colectivo, calefacción de edificios, servicios sanitarios, de seguridad, etc.). La reducción drástica de estas actividades puede suponer la deslegitimización de las instituciones de gobierno y situaciones caóticas.

GRÁFICO 7

DIFERENTES ELASTICIDADES DE LOS SEGMENTOS DE CONSUMO AL PRECIO



FUENTE: VAIL (2008, AUGUST 20, OIL DEMAND DESTRUCTION & BRITTLE SYSTEMS.

La magnitud del impacto dependerá del ritmo de disminución del suministro de petróleo. R. Hirsch *et al.* (2010) establecen dos escenarios, con reducciones del 2% y 4% al año, y consideran que el segundo sería catastrófico. Prevén que el PIB mundial se reducirá en un 20-30% a lo largo de más de una década, lo cual generará una crisis social que puede desestabilizar las instituciones políticas. El informe del CGAT (2010) prevé que el impacto del techo durará 15-20 años. Y "el declive o colapso del suministro de petróleo golpeará a todos los sectores de la economía, provocando cambios rápidos en el transporte" (ITPOES, 2010*a*: 26). La gran mayoría de las sociedades sufrirán un impacto muy grave, pero su intensidad dependerá de las características de cada una. Será menor cuanto más predominen los factores siguientes: administraciones con finanzas saneadas; baja dependencia relativa del petróleo; alta eficiencia energética; grandes recursos de petróleo o gas; fuerte desarrollo de las tecnologías solares; elevada capacidad de cambio tecnológico; baja apertura de la economía; alta diversidad de tejido económico; instituciones sólidas; alta cohesión social. Los principales países exportadores de petróleo o gas seguirán teniendo altas rentas de exportación, aunque en cuantía muy variable según las

fases del declive oscilante. Pero este grupo también sufrirá impactos que van a depender de sus ratios de capacidad exportadora/población. En Noruega y en algunos emiratos del golfo Pérsico este ratio es muy grande. En el otro extremo tenemos a países como México, Irán, Argelia, etc. En general, muchos países sufrirán altas cotas de inestabilidad, fruto del empobrecimiento y del fortalecimiento del extremismo político (2008; CGAT, 2010).

Como ya ha ocurrido en el pasado, los Estados se volverán más intervencionistas, por la necesidad de impulsar transformaciones rápidas para superar la crisis. El CGAT espera una reducción del mecanismo de libre mercado (racionamiento de gasolinas, alianzas políticas entre Estados para garantizar el suministro de combustibles fósiles, proteccionismo, etc.) y economías más autocentradas por la elevación de costes del comercio. El comercio se reducirá drásticamente, sobre todo el de largo recorrido, por la elevación de los costes energéticos y de la menor actividad económica. J. Rubin y B. Tal (2008), economistas del banco CIBC, afirman que "la globalización es reversible". Por el contrario, se fortalecerá el comercio regional. El CGAT aboga por la creación de infraestructuras redundantes y altamente resilientes y por la descentralización. Pero la necesidad obligará a ello principalmente en los sectores de energía, industrial y agrícola. Aumentará el apoyo al hidrógeno de origen renovable. Se fortalecerán las actividades de reparación, remanufacturación, reciclado, etc. En el sector financiero se aplicarán medidas que supondrán una cierta nacionalización del crédito y se fortalecerán los sistemas de financiación comunitarios. Se priorizará la inversión en el transporte colectivo y de mercancías por ferrocarril. J. Rubin (2009*b*) declara que no se sorprenderá "si el nuevo mundo más pequeño que emerge fuera mucho más fiable y agradable que el que estamos cerca de dejar atrás".

No está claro qué ocurrirá en el ámbito internacional. Si bien es evidente que el dólar dejará de ser la divisa internacional. Y que la OMC perderá gran parte de su poder. No lo es si entraremos en una fase de alta cooperación internacional o en otra de priorizar las necesidades nacionales. El CGAT prevé un debilitamiento de las instituciones internacionales y la agudización de las confrontaciones por el acceso a la energía escasa, sobre todo en la elipse estratégica y en los yacimientos marinos. Es posible que ésta sea la primera consecuencia del techo, pero después parece probable que se fortalezca la cooperación para facilitar la transición colectiva. Pero, al mismo tiempo, se mantendrán conflictos de alta intensidad en algunas zonas. El nuevo SMI será gestionado por el FMI, que funcionará como un banco central mundial. Tendría un fondo de inversión mucho mayor que el actual y emitiría su propia

moneda de reserva: los derechos especiales de giro (DEG), que es una cesta de monedas, al estilo de lo que fue el ECU en la UE. Se trataría de que la cesta actual fuera reduciendo el peso del dólar (ahora tiene un peso del 40%) para aumentar el de las monedas de los países emergentes: yuan, khaleeji (la futura moneda del GCC), real brasileño, etc. Su funcionamiento sería supervisado por un consejo de coordinación mundial (Sousa, 2009).

3.2. SECTORIALES

Aunque en los capítulos siguientes analizaremos las transformaciones previsibles en los sistemas de transporte y energético, adelantamos aquí las conclusiones principales. El paradigma dominante del transporte (más movilidad, más rápida y más lejos) será sustituido, al menos durante la larga crisis, por otro inverso. El transporte de carretera y aéreo sufrirá el mayor impacto, por su dependencia total del petróleo y baja eficiencia, así que se producirá un fuerte trasvase de pasajeros del automóvil a los medios colectivos, del avión al ferrocarril hasta distancias en el entorno de los 500 km y de mercancías de la carretera al ferrocarril y al barco. Si bien hay una tendencia a sustituir las gasolinas por electricidad y por agrocombustibles en los vehículos ligeros, hacia el final de la década los vehículos de pila de hidrógeno entrarán en producción comercial en los mismos y en los autobuses. Después de 2020 se generalizará su uso en la mayor parte de los modos. En energía asistimos a un desarrollo explosivo de la producción de electricidad eólica y solar, y este proceso se acelerará a lo largo de esta década, sobre todo por la rápida entrada en paridad de costes con las convencionales en todos los lugares.

La crisis actual y la sucesión de crisis venideras obligarán a tomar medidas fuertemente intervencionistas para evitar los colapsos recurrentes del sistema financiero y garantizar el crédito. La batería de medidas posibles es muy amplia: creación de un sistema de crédito público a interés cero; la creación (y en caso de existir la potenciación) de bancos públicos aprovechando las oficinas de los organismos de correos; exigencia de total transparencia de las actuaciones de los bancos; y fuertes medidas de apoyo a los bancos comunitarios (uniones de crédito, bancos verdes, sistemas financieros comunitarios, etc.); regulación de la banca que garantice la provisión a la sociedad de "servicios altamente cualificados y especializados, y que ganen rentas semejantes a las de sus clientes"; etc. (Paris, 2009). Estas medidas darán estabilidad al sistema financiero, acabarán con los privilegios escandalosos y la discriminación del más débil y reforzarán el tejido económico básico, que es el principal creador

de empleo. Estas políticas deberán complementarse con la implantación de un sistema fiscal ecológico.

La agricultura industrial disminuirá mucho por los altos costes de los combustibles fósiles y se acortarán los circuitos de comercialización. En su lugar se incrementarán fuertemente modelos agrícolas menos intensivos en energía y orientados a la alimentación de poblaciones relativamente próximas, por lo que se elevará mucho el nivel de autoabastecimiento de los países y regiones. También se multiplicarán los pequeños huertos para el autoconsumo, como respuesta a la crisis económica y como medio de garantizarse alimentos sanos. Pero estas tendencias no resuelven el caso de los países que son incapaces de autoabastecerse, bien por no tener tierra suficiente para alimentar a su población, bien por carecer de agua. Muchos de ellos no serán capaces de importar unos alimentos que serán muy caros, por la escasez y altos costes del transporte, por lo que tendrán que aprovechar todas las posibilidades de aumentar su producción. El mejor medio es reducir los cultivos de exportación.

CAPÍTULO 12

LA INSOSTENIBILIDAD DEL MODELO DE TRANSPORTE DOMINANTE Y LAS TRANSFORMACIONES PREVISIBLES PROVOCADAS POR EL TECHO DEL PETRÓLEO

Asistimos a un fuerte aumento de la movilidad mundial. En el periodo 1995-2006, en la UE el transporte de mercancías interior creció al ritmo anual del 2,8%, en toneladas-kilómetro, y el de pasajeros-kilómetro en un 1,7%. El transporte aéreo de pasajeros creció mucho más. Estas progresiones quebraron en 2008 y 2009 debido a la crisis y lo harán mucho más cuando se manifieste el techo del petróleo. El sector del transporte será el más impactado, porque el petróleo constituye el 95% de la energía que se consume en el mundo (más del 98% en la UE). Su enorme dependencia del petróleo se debe a la hegemonía que tiene la carretera en el transporte de pasajeros (sobre la base del vehículo individual) y de mercancías y que ejerce el transporte aéreo en los desplazamientos de más de 500 Km. Por otro lado, esa dependencia ha venido intensificándose debido a las características del actual paradigma de movilidad: movilidad creciente, aumento continuo de la velocidad de desplazamiento y de las distancias recorridas. Este paradigma empezó a modificarse hacia un paradigma antagónico en la fase final de la escalada de precios del petróleo del periodo 2002-2008: menor movilidad, más lenta y cercana.

Este capítulo se estructura en los apartados siguientes: análisis del desarrollo del modelo de transporte dominante, de los beneficios económicos que se alegan, del impacto y cambios producidos por la escalada de precios del petróleo, de la política de la UE y, por último, describiremos las transformaciones que previsiblemente provocará el techo del petróleo.

1. EL MODELO DE TRANSPORTE DOMINANTE

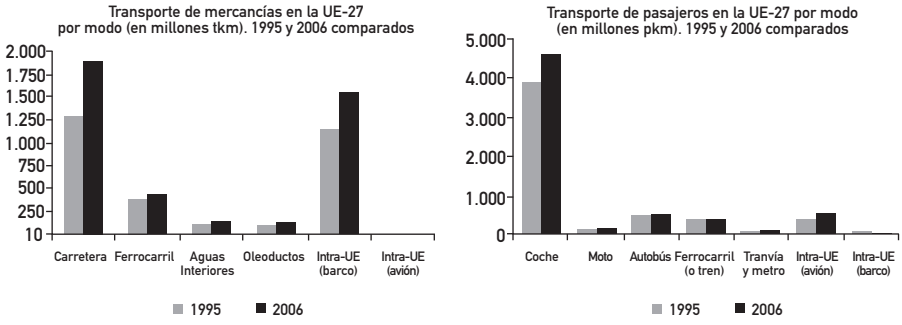
1.1. EL PROCESO DE CONSOLIDACIÓN

El paradigma dominante en el transporte se caracteriza por un aumento continuo de la movilidad, de la velocidad de desplazamiento y de las distancias medias recorridas. Los principales tractores del modelo son: la elevación de rentas, la preferencia de la población por el uso del coche como medio habitual de desplazamiento, la globalización económica, la expansión del "mercado único" en la UE y la construcción de infraestructuras (normalmente promovidas por los Estados) adecuadas al modelo de movilidad.

Tal como se muestra en el gráfico 1, en el periodo 1995-2006 el transporte de mercancías interior de la UE creció al ritmo anual del 2,8%, en toneladas-kilómetro (t-k). El incremento del transporte de viajeros fue del 1,7% en pasajeros-kilómetro (p-k) y, como la población ha crecido mucho menos, ha habido una creciente movilidad por persona. El PIB creció al ritmo del 2,4%. Así que la movilidad de viajeros creció menos que el producto económico y, por el contrario, el transporte de mercancías lo hizo a un ritmo superior. El transporte de mercancías por ferrocarril fue el modo de menor crecimiento: 1,1% en t-k. El barco transportó un tercio de las mercancías interiores y tres cuartos de las exteriores. El transporte interior de mercancías por avión fue muy pequeño. La carretera transportó el 83% de los pasajeros en desplazamientos interiores, pero el crecimiento del transporte aéreo ha sido mucho mayor. Los viajeros por ferrocarril apenas crecieron. El tráfico aéreo creció al ritmo anual medio del 5,3% en el periodo 1993-2008 (Focus Group, 2009; Hoyos, 2010).

GRÁFICO 1

INTRA-UE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS Y PASAJEROS POR MODO EN 1995 Y EN 2006



FUENTE: FOCUS GROUP (2009: 6).

TABLA 1

DEMANDA, CONSUMO ENERGÉTICO Y EFICIENCIA MODAL

MODO DE TRANSPORTE	1990	2005	2006	DIFERENCIA 1990-2006
USO ENERGÉTICO EN 1.000 TEP				
Tren	9.573	9.435	9.199	-4%
Navegación interior	5.654	4.368	4.683	-17%
Carretera	234.608	297.745	303.317	29%
Aviación	29.138	49.869	51.856	78%
Mar	20.478	32.188	32.220	57%
CONSUMO ENERGÉTICO EN 1.000 TEP POR UNIDAD DE TRÁFICO				
Tren	0,020	0,021	0,019	-3%
Navegación interior	0,05	0,032	0,034	-32%
Carretera	0,145	0,119	0,116	-20%
Aviación	1,058	0,899	0,899	-15%
Mar	0,004	0,004	0,004	-6%

FUENTE: FOCUS GROUP (2009: 8).

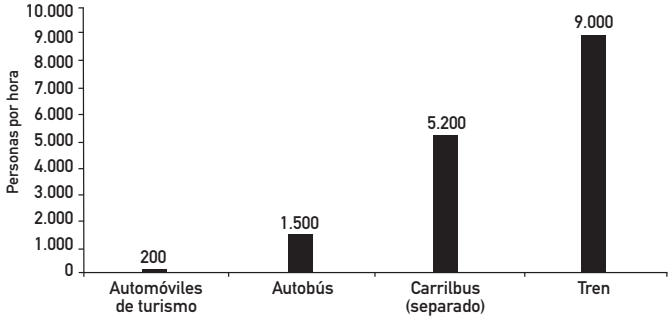
La tabla 1 completa la información anterior en cuanto a consumos (conjuntos de viajeros y mercancías) de energía y eficiencia de los modos. En el periodo 1990-2006 la movilidad por carretera se incrementó en un 61%, pero el aumento del consumo energético fue solo del 29%, debido a que el aumento de la eficiencia de la carretera mejoró un 20%. Este aumento de eficiencia se produjo por los avances tecnológicos en el automóvil, ya que la eficiencia del camión ha permanecido casi estancada. En la aviación también ha habido un aumento notable de la eficiencia: el aumento del tráfico fue del 110%, pero el consumo subió un 78%, a causa de un incremento del 15% en la eficiencia. Resulta curioso que la navegación interior mejorara la eficiencia en un 32%, mientras que la marítima solo lo hizo en un 6%. Destaca por su pobreza el incremento de la eficiencia del ferrocarril (3%), que es una muestra de su marginación histórica. Así que los vehículos que transportan la gran parte de las mercancías destacan por una muy lenta mejora de la eficiencia. A partir de los datos de este cuadro se puede calcular las eficiencias de cada modo y compararlas; resultan las siguientes: ferrocarril (20,5 tep/t-k); vehículos de carretera (118,95 tep/t-k); avión (890,50 tep/t-k); y barco (3,73 tep/t-k). Así que resulta que el barco es 5,5 veces más eficiente que el ferrocarril, 32 veces más que los vehículos de carretera y 238 veces más que el avión. El ferrocarril es cerca de 6 veces más eficiente que la carretera y cerca de 48 veces más que el avión. De todas formas, no hay consenso sobre la eficiencia comparada de los

modos, aunque esté clara la jerarquía de los mismos y la existencia de grandes diferencias en eficiencia (Focus Group, 2009: 6).

La carretera consume el 73,9% de la energía total del transporte, seguida por la aviación (14,9%), el barco (7,8%), el ferrocarril (2,2%, siendo el 68% electricidad) y finalmente la navegación interior (1,1%). Las bajas eficiencias determinan el enorme consumo de energía de la carretera y del avión en relación con la carga transportada. Teniendo en cuenta que el ferrocarril consume el 2,2% de la energía y que el 80% de la misma es electricidad y el resto diesel, resulta que el petróleo supera el 98% de la energía consumida en el transporte (Focus Group, 2009: 7).

GRÁFICO 2

CAPACIDAD DE LOS MODOS DE TRANSPORTE URBANO. EL ANCHO DE CADA INFRAESTRUCTURA



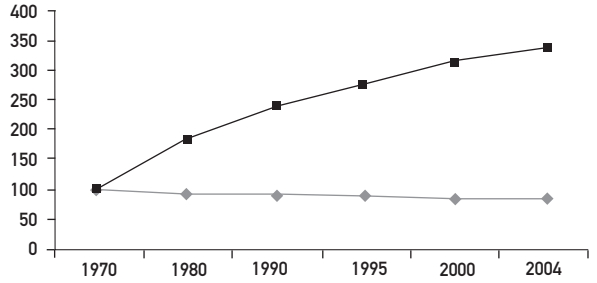
FUENTE: UIC-CER (2008: 16).

El dominio abrumador de la carretera es el resultado de diversas políticas: una baja fiscalidad sobre las gasolinas; una fiscalidad que no valora los impactos ambientales y sociales de los modos; la marginación del ferrocarril; una baja aplicación de políticas de gestión de la demanda; la escasez de carriles exclusivos para transporte colectivo; y la falta de un urbanismo diseñado para el transporte colectivo, etc. Y, sin embargo, el automóvil y (en menor medida) el autobús sin carril propio, que son los medios que monopolizan el espacio ciudadano dedicado a la movilidad, son los que con gran diferencia tienen la menor capacidad de transporte de viajeros por unidad de espacio ocupado. El gráfico 2 refleja que el ferrocarril tiene capacidad de transportar 45 veces más viajeros que el coche, que el autobús con plataforma propia tiene 26 veces más y el autobús sin plataforma, 7,5 veces más.

Por último, la marginación del ferrocarril resulta evidente en el gráfico 3, donde se muestra una reducción lenta en los kilómetros de vías ferroviarias desde mediados de los setenta que contrasta con un crecimiento del 350% de autopistas y autovías en el mismo periodo, aunque su ritmo de construcción tiende a ralentizarse.

GRÁFICO 3

INCREMENTOS DE VÍAS DE ALTA CAPACIDAD Y DE LÍNEAS FÉRREAS EN LA UE-15 (%)



FUENTE: UIC Y CER (2008: 25).

1.2. GRANDES VARIACIONES EN LA APLICACIÓN DEL MODELO

A pesar de que la mayoría de las políticas de transporte nacionales en Europa tienen en común los rasgos generales descritos, hay grandes diferencias entre los miembros, oscilando entre las de malas prácticas de España y las buenas de Suiza, Austria, Dinamarca, etc.

Los gobiernos españoles mantienen desde hace varias décadas una política de transporte de gestión de la oferta, excepto en el ferrocarril. Es decir, se prevén los aumentos de movilidad futuros y se construyen las infraestructuras que la satisfacen. Es lo que se define como política de "prever y dotar". En la práctica, en muchas ocasiones (sobre todo en el caso de las vías metropolitanas y en los aeropuertos principales) la demanda ha crecido por encima de las previsiones de los gobiernos, por lo que tratan de resolver la congestión con nuevas infraestructuras. Sin embargo, en el caso del ferrocarril no se aplica la política de prever y dotar, sino la de liderazgo mundial de alta velocidad ferroviaria (AVF), por lo que se invierte masivamente en ella, marginando la red convencional y con ello las mercancías. El Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT 2005-2020) es la expresión de la política de transportes española, ya que establece los objetivos de construir 6.000 Km de autovías y autopistas y 9.000 Km de líneas férreas de alta velocidad, de los cuales unos 2.000 para velocidades de hasta 300 Km/h de velocidad punta y 4.000 hasta 250 Km/h. De cumplirse el PEIT, España contaría en el 2020 con el 50% de la red de AVF de la UE. A principios de 2008 España ya alcanzó el primer lugar de Europa en kilómetros de AVF y el segundo del mundo. En 2010 se convirtió en líder, sobrepasando a Japón. También es líder europeo en número de aeropuertos comerciales (48), seguido de Francia (42), mientras que Alemania solo

tiene 25. Normalmente no llegan a diez los aeropuertos rentables (solo nueve lo fueron en 2009, la gran mayoría de ellos ubicados en centros turísticos). Para lograr estos objetivos ha sido necesaria una enorme inversión en infraestructuras. España invirtió el 2% del PIB, mientras que en el resto de países de la UE no alcanzaba el 1%. Ello explica, en buena medida, que desde 1993 el gasto social de España se venga reduciendo en relación con la media de la UE. En 1993 fue un 24% del PIB y en la UE-12 un 28%. Y en 2006 se situó en un 20,9% y el de la UE-27 en un 26,9% (Ministerio de Fomento, 2005; Diario de Sesiones del Congreso, 2008: 13; Aena, 2010).

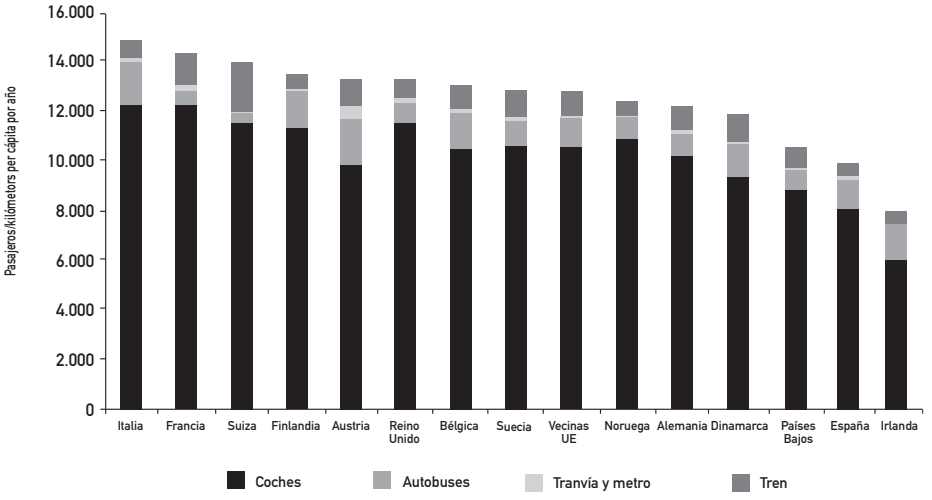
Suiza, por el contrario, se distingue por políticas de gestión de la demanda para trasvasar pasajeros del coche a los medios colectivos; desarrollo de la intermodalidad; modernización y extensión paulatina de la red de transporte colectivo; y una apuesta decidida por el tránsito de mercancías en tren. Tiene la red ferroviaria más densa en relación con su superficie, seguido por Alemania, Chequia, Hungría, Bélgica y Austria, y con gran diferencia el mayor ratio de utilización del tren para viajeros (49 viajes por persona y año); le sigue Austria con 25 viajes. Suiza aprobó en 1994 mediante referendo el que todas las mercancías en tránsito fueran por tren. Aunque la UE reaccionó negativamente, llegó en 2004 a un acuerdo con Suiza, por el que obligatoriamente, como mínimo, debe transportarse por tren el 70% de las mercancías en tránsito. Está financiando la construcción de la red necesaria para cumplir este objetivo gravando el transporte de camiones y las gasolinas. El Libro Blanco del Transporte de la UE saludó tal política como un "ejemplo de libro" de buena práctica (COM(2001) 370). Tiene, por último, el sistema de coche compartido más importante del mundo. Austria, aparte de lo dicho, se distingue por gravar el tránsito de mercancías mediante el sistema de ecopuntos, que supone que las empresas tienen que pagar por la emisión de NOx, pero el pago solo da derecho a una cantidad de emisión, con lo que se convierte en un factor limitador del tránsito de camiones. El gráfico 4 muestra los repartos modales en los países de la UE-15 en el transporte de viajeros, en el que se pueden apreciar los elementos diferenciales de los tres países. Suiza destaca por el peso del ferrocarril, pero Austria lo hace por el peso del transporte colectivo (tren, tranvía, metro y autobús). España tiene como rasgo positivo una menor movilidad, que refleja en general una menor renta per cápita, pero una de las más pequeñas cuotas del ferrocarril, incluso sumando el metro y el tranvía, y se encuentra entre los últimos países en movilidad a pie, ocupando el último puesto en uso de la bicicleta. Por otro lado, Dinamarca y Holanda destacan ampliamente en movilidad con bicicletas y Dinamarca, en desplazamientos a pie (km por persona y año) (Lovelace, 2009; Vernon, 2009).

Al comparar el reparto modal de España con el de la UE-12 (UE-15 menos España, Portugal y Grecia) se refuerza la imagen anterior. En 2006 tenía el siguiente

reparto terrestre del transporte: automóvil (81,4%), autobús (11,8%), ferrocarril (5,3%), tranvía/metro (1,5%). El reparto modal de la UE-12 era: 74,2%, 14,3%, 6,7% y 3,0%, respectivamente. El peso del coche es claramente inferior y mayor el de los medios colectivos. En mercancías, las diferencias son más acusadas. El reparto de mercancías en España en T/Km es: carretera (92%), ferrocarril (4%), tubería (4%). En la UE-12 el reparto es: 62%, 28%, 2% y 8% (transporte fluvial), respectivamente. El peso de la carretera es mucho menos intenso y el del ferrocarril siete veces más alto. Ello explica que el consumo energético español del transporte sea el 41% del total, frente al 32% en la UE-12 (Eurostat, 2008).

GRÁFICO 4

REPARTO MODAL EN LOS PAÍSES DE LA UE-15



FUENTE: LOVELACE (2009).

2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA DEL MODELO

Los gobiernos suelen justificar la promoción de grandes infraestructuras de transporte afirmando que son grandes impulsoras del crecimiento económico y de la generación de empleo. Pero nunca se han molestado en cuantificarlos una vez construidas. Por el contrario, numerosos informes (algunos encargados o elaborados por gobiernos) y algunos resultados evidentes no justifican tal premisa. Además, y siguiendo con la lógica de maximizar el crecimiento, habría que estudiar el coste de oportunidad, es decir, analizar los resultados de

diversas políticas para elegir la inversión que ofrece mejores resultados. Pero habría que plantearse, sobre todo, si tales infraestructuras son una contribución a la sostenibilidad y si en el contexto de este análisis tiene una concreción práctica: la idoneidad de las mismas para hacer frente al techo del petróleo.

El Ministerio de Fomento afirma que el multiplicador de la inversión pública en infraestructuras de transporte es de 1,5, es decir, que invertir 1 euro conlleva 0,5 euros de inversión adicional. Pero la literatura especializada considera adecuado para la economía española un multiplicador de la inversión de 1,05, tal como lo hacen Boscá *et al.* (2004: 34), quienes afirman en consecuencia que "no se deberían llevar a cabo grandes planes generales de dotación de infraestructuras, por ejemplo de transportes, sino que se deberían llevar a cabo análisis coste-beneficio de proyectos concretos. En general, la idea es que se trata más de mejorar el uso de determinadas redes, por ejemplo descongestionándolas, que de ampliarlas" (Boscá *et al.*, 2004: 34). Ésta es una conclusión que vienen respaldando los informes del gobierno británico. El SACTRA sobre Economía y Transporte (elaborado durante tres años) llega a la conclusión de que en economías maduras, con sistemas de transporte bien desarrollados, los proyectos acabados "no ofrecen pruebas generales convincentes del tamaño, la naturaleza u orientación de los impactos económicos locales" y que, en general, "cualquier contribución al crecimiento económico debido a la mejora del transporte será probablemente modesta" (SACTRA, 2010). Por tanto, defiende la existencia de un umbral de transporte a partir del cual una mayor movilidad tiene efectos perjudiciales para la actividad económica. El Informe Eddington confirma tales conclusiones: "Históricamente las conexiones nuevas han desempeñado un papel central en los periodos de rápido crecimiento económico de muchas economías, pero en las economías maduras con buenas redes son los problemas puntuales de congestión los que más pueden impactar en la productividad y competitividad de la nación". Por ello "el gobierno debe focalizar su política y la inversión en la mejora de la productividad de las redes de transporte existentes" (Eddington, 2006). J. Whitelegg (2010) aporta numerosos estudios e informes de muchos países que respaldan estas conclusiones.

La herramienta más utilizada para la evaluación de inversiones es el análisis coste-beneficio (ACB). En esencia, el ACB consiste en comparar el flujo de beneficios y costes para la sociedad asociados a un proyecto durante su vida útil. Si bien el criterio privado para la realización de un proyecto es la obtención de un beneficio financiero, la inversión pública ha de maximizar el

bienestar social tomando en consideración muchos otros factores además de los estrictamente financieros (económicos, sociales, ambientales, territoriales, etc.). El criterio empleado por el Ministerio de Fomento para aceptar la deseabilidad de una inversión pública en infraestructuras de transporte es que su rentabilidad socioeconómica sea superior al 6%. Francia eleva el umbral de rentabilidad al 8%. Pero, en la práctica, se elaboran más para justificar una decisión tomada de antemano que para la toma real de decisiones. Se busca "cuadrar los números" con dos tipos de perversiones: sobrevalorar los beneficios sociales e infravalorar los costes sociales y económicos del proyecto. Ésta es una práctica particularmente intensa en España pero, también, muy extendida en Europa, según un demoledor informe del Tribunal de Cuentas de Francia (Cour de Comptes). Cita un estudio de la Universidad de Aalborg sobre 258 proyectos de infraestructuras de transportes en 20 países que concluye que el aumento de coste medio sobre el estimado para todos los proyectos fue del 28%, porcentaje que se eleva al 45% en los proyectos ferroviarios. El Tribunal de Cuentas analiza los proyectos de AV franceses realizados y halla desviaciones de costes de hasta el 25% y de reducciones en el número de viajeros previstos de hasta la mitad. Lo cual reduce mucho la rentabilidad de las líneas analizadas, hasta el punto de que en algún caso cae muy por debajo del umbral del 8%. Y concluye que "debe darse una prioridad mayor a los gastos en renovación de los equipos sobre las inversiones en desarrollo" (Cour de Comptes, 2006: 138; Bermejo *et al.*, 2005).

3. CAMBIOS EN EL MODELO POR EFECTO DE LA ESCALADA DE PRECIOS DEL PETRÓLEO DE 2002-2008

La escalada de precios del petróleo de 2002-2008 provocó al final del periodo signos de un nuevo paradigma, inverso del tradicional. Se redujo la movilidad, la velocidad de desplazamiento y especialmente los desplazamientos más largos. El coche redujo su hegemonía. Pero la intensidad de los cambios fue inferior en Europa que en EE UU, debido al menor coste de la factura del petróleo por la apreciación del euro. Los dos gráficos siguientes muestran algunos signos de cambio en la UE-27 en pasajeros y mercancías en el periodo 1995-2007 (en millones pasajeros-km y en millones toneladas-kilómetro), a pesar de que no contempla el año 2008. En mercancías, el fuerte crecimiento de la carretera seguía imparable incluso en 2007, así como el del barco, aunque a un ritmo algo menor. El tren, que permaneció estancado en el periodo 1995-2003,

inició después una fase de crecimiento que no tiene precedente en el periodo analizado. El avión permaneció estancado a un nivel mínimo, porque solo se contempla el transporte interno de mercancías. En cuanto a los pasajeros, el coche siguió su fuerte escalada, aunque a partir de 2004 el ritmo de crecimiento decae, especialmente desde mediados de 2006. El autobús, que venía teniendo un crecimiento lento, aumentó claramente su ritmo de crecimiento a partir de 2003 y sobre todo desde 2006. El avión, que creció mucho entre 2003 y 2005, a partir de este año reduce un poco su ritmo de crecimiento. Por último, el metro y el tranvía mantuvieron una pequeña, pero constante, tendencia de crecimiento. Así que el tráfico de mercancías por carretera y por barco no fue afectado por la escalada de precios del petróleo en el periodo considerado, ni tampoco en pasajeros de metro y tranvía. El tráfico de mercancías por tren se vio afectado muy positivamente, y en menor grado el de pasajeros, y negativamente (aunque de forma ligera) el tráfico de pasajeros en coche y en avión, a partir de 2005 o 2006. Sin embargo, la evolución del autobús fue muy positiva desde mediados de 2003 (Comisión Europea, 2009).

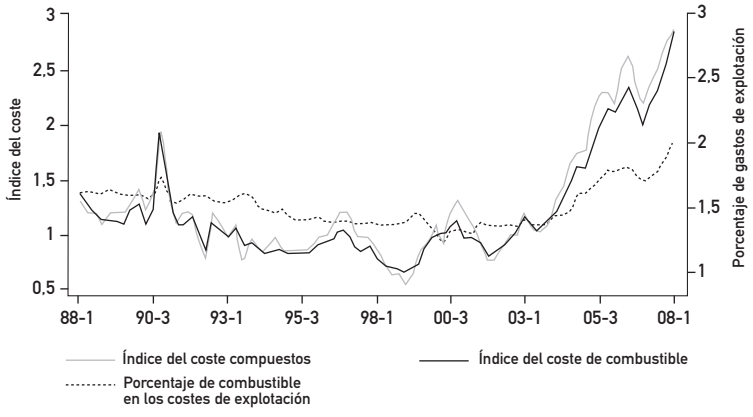
La escalada del petróleo provocó cambios en línea con un nuevo paradigma de forma incontestable en el primer semestre de 2008, aunque algunos se empezaron a manifestar antes, como hemos visto. Todos los modos sufrieron una elevación de costes, pero se produjeron grandes diferencias en la magnitud de los mismos y de su peso en los costes totales. El aumento de costes determinó la proliferación de iniciativas reductoras por parte de las empresas de transporte y el diseño de vehículos más eficientes en el caso de las empresas constructoras. Entre las iniciativas más comunes por parte de las compañías de transporte destacan: trasvases modales; sustitución de los vehículos más veloces, por otros más lentos y eficientes; disminución de la velocidad de los vehículos; mejora en la eficiencia de la conducción y de los vehículos (reducción del peso de los vehículos, renovación de flotas con los vehículos más eficientes existentes); eliminación de los trayectos no rentables; etc. Estas medidas constituyen las primeras respuestas, necesarias pero insuficientes, y por ello dan paso a otras de carácter estructural, como la reducción del número empresas, de vehículos y de plantillas en el caso de los sectores que reducen su cuota de mercado. Por el contrario, los modos receptores de viajeros y mercancías crecieron, así como las empresas productoras de vehículos para ellas (trenes, autobuses y barcos) (Bermejo, 2008: 146-150).

Dada la menor eficiencia relativa del transporte aéreo, éste se vio particularmente impactado. En el gráfico 5 vemos que los costes de gestión y de combustibles bajaron hasta el año 2000 y que después se elevaron mucho, sobre

todo a partir de 2004. En 2002 los precios del combustible suponían el 9,9% de los costes de gestión. En el primer trimestre de 2008 alcanzaron el 29,4%, y siguieron subiendo hasta alcanzar el 35%, e incluso el 40% en las compañías de *low costs* (debido a los bajos costes salariales). Los impactos de tal escalada se fueron intensificando a partir de 2007. Las compañías pronto agotaron las medidas de reducción de costes a corto plazo: eliminación de la distribución gratuita de diversos artículos a viajeros; reducción del peso estructural de los aviones; reducción a los mínimos imprescindibles del combustible y del agua; reducción de la velocidad de desplazamiento; etc. Muchas compañías (Easy Jet, BMI, Air New Zealand, Air Canada, Brussels Airlines, Southwest, Jet Blue, etc.) redujeron en unos 20 Km/h la velocidad en vuelos de largo recorrido, con el fin de ahorrar combustible. No pueden reducirla más porque la IATA lo impide en los corredores internacionales. Donde sí pueden hacerlo es en vuelos regionales, donde cada vez utilizan más aviones de hélice, porque reducen el consumo hasta en un 70%. En 2007 se vendieron 400 unidades, frente a 250 reactores. Otras medidas adoptadas fueron: eliminación de trayectos no rentables, aumento de precios, reducción de personal, etc. Como las empresas pequeñas suelen ser las más vulnerables, en el primer semestre de 2008 quebraron 25 de ellas en el mundo. Muchos aeropuertos pequeños se quedaron sin vuelos regulares y la gran mayoría perdió vuelos. En EE UU más de 400 aeropuertos redujeron vuelos y cerca de 30 se quedaron sin vuelos regulares en 2007 (Milmo y Adetunji, 2008; Hummels, 2009: 15).

GRÁFICO 5

EVOLUCIÓN DE LOS COSTES DE COMBUSTIBLES Y TOTALES DE GESTIÓN DEL TRANSPORTE AÉREO



FUENTE: HUMMELS (2009: 64).

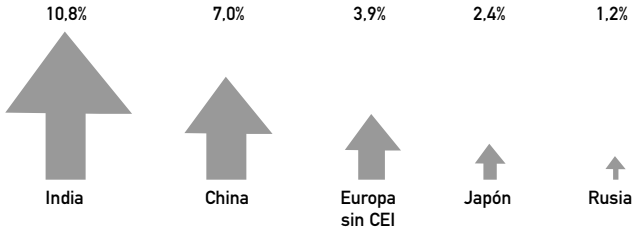
La escalada de precios afectó de forma particularmente aguda y temprana al transporte aéreo de mercancías. Entre 1951 y 2004 este tráfico internacional creció (en toneladas-millas) al ritmo anual del 11,7% a escala mundial (en el caso de toneladas el ratio fue del 7,4%). En la UE el porcentaje en valor de importaciones aéreas en relación con el total se redujo en el periodo 2000-2007 del 25,1% al 18,1%. Pero como fue un periodo de fuerte crecimiento del comercio, el valor de las importaciones aéreas creció ligeramente. Por el contrario, la cuota de mercado de las importaciones por barco creció del 41,5% al 50,3% en el mismo periodo. Y las exportaciones mostraron tendencias semejantes (Hummels, 2009: 3, 4, 57).

También el transporte por carretera fue altamente impactado en 2007 y 2008. En algunos países OCDE se redujo fuertemente el flujo de mercancías y el uso del coche. Por el contrario, aumentó el flujo de pasajeros en autobús y tren. En EE UU el transporte por camión se redujo en 2007 un 1,5%, en el primer semestre de 2008 disminuyó la flota de camiones en un 3% y el número de millas/vehículo en un 4,2%. Las ventas de coches en la UE, EE UU y Japón se redujeron un poco en el primer semestre de 2008, pero después aceleraron su declive, especialmente en el último trimestre, por la recesión. Todo ello determinó una espectacular reducción de las ventas de coches y las de los más grandes se desplomaron (con caídas de hasta el 70%), provocando una aguda crisis en el sector que continuó en 2009. Las compañías estadounidenses fueron las más impactadas, por centrar su negocio en coches muy grandes e ineficientes, llevando a la quiebra a General Motors, por lo que se vio obligada a reducir su tamaño, perdiendo varias marcas (OCDE, 2009).

El ferrocarril se fortaleció en 2007 y 2008 a nivel mundial. Según la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles) en 2007 el tráfico de viajeros aumento en un 1,5-2% en Europa y Japón, mientras que en mercancías fue del 3,5% para Europa. En 2008 se mantuvo esta tendencia en viajeros: un crecimiento del 3,9% en viajeros-Km y a un ritmo menor en Rusia y Japón. Los ritmos de crecimiento en la India y China fueron explosivos (UIC, 2009). En EE UU venía aumentando el número de viajeros en el ferrocarril y en 2007 lo hizo en un 3%. En 2008, las compañías ferroviarias de EE UU tenían encargados 3.000 nuevos vehículos. La mejoría del ferrocarril no impidió que también las compañías adoptasen medidas para reducir el consumo de energía, sobre todo adiestrando a los conductores en el ahorro de energía. Por ejemplo, lo hicieron First Group y TransPennine Express (Milmo y Adetunji, 2008; Krauss, 2008).

GRÁFICO 6

TRÁFICO DE PASAJEROS POR FERROCARRIL 2007-2008



FUENTE: UIC (2009).

En la UE el tráfico de mercancías por ferrocarril se incrementó en un 6,1% en el primer semestre, pero a partir de aquí empezó a caer, terminando el año con un descenso del 4,9%. Sin embargo, la Comisión afirma que "los acontecimientos de 2008 no parecieron afectar al reparto modal de mercancías". La UIC presenta un descenso del 1,7% en EE UU y un ascenso del 5,0% en Rusia. Los crecimientos de la India y China son menores en mercancías que en pasajeros, especialmente en China. La explicación puede estar en que la economía india aguantó la crisis mucho mejor que la china, debido a que tiene una economía más autocentrada. Volviendo a la UE, en 2009 el ferrocarril perdió un poco de cuota de mercado: "El transporte de mercancías por ferrocarril sí que registró una reducción de actividad un poco mayor que los demás modos". Lo mismo ocurrió con los pasajeros (UIC, 2009; COM(2010) 474 final).

También aumentó el tráfico por ríos y canales. Pero las navieras también se enfrentaron a un aumento de costes y adoptaron medidas semejantes a las de otros modos, como retirar los barcos más ineficientes (normalmente los más veloces) y reducir la velocidad, en algunos casos por la sustitución de los más nuevos y veloces por los antiguos y más lentos. Ambas políticas se generalizaron en los ferris que

GRÁFICO 7

TRÁFICO FERROVIARIO DE MERCANCÍAS 2007-2008

FUENTE: UIC (2009).

operan en el norte de Europa. También redujeron la velocidad los barcos de carga. Así lo hicieron los gigantes navieros Hapag-Lloyd (de 23 a 20 nudos) y Maersk (de 24 a 20). Algunas navieras empezaron a utilizar el viento, acoplando cometas, reduciendo un 10-15% del combustible (Milmo y Adetunji, 2008).

4. INTENTOS DE CAMBIO EN LA POLÍTICA DE TRANSPORTE DE LA UE

Fruto de las políticas estatales, el transporte es hegemonizado por la carretera en el transporte terrestre y el sector aéreo es el que ha sufrido un crecimiento mayor. Pero desde la década de los noventa la UE viene impulsando la red RTE-T y especialmente los 30 proyectos principales de infraestructuras, entre las que predominan las de AVF. Como consecuencia de esta política y la escalada de precios del petróleo, hemos visto que el ferrocarril paró su declive histórico en 2000 y mantuvo la cuota de mercado hasta 2008, a pesar de que el Libro Blanco de 2001 pretendiera aumentarla. El objetivo principal es crear un transporte ferroviario europeo liberalizado.

A partir de 2009 la Comisión mostró la intención de cambiar su política de transporte, reconociendo que el petróleo es un problema. A principios de 2009 la Comisión presentó un Libro Verde, en el que se refleja la preocupación sobre la incertidumbre de los precios del petróleo. En junio de 2009 otra Comunicación incluye el apartado "Creciente escasez de combustibles fósiles". En él se afirma que en el futuro "el petróleo y otros combustibles fósiles se volverán más costosos, debido al incremento de la demanda y los recursos de bajo coste se agoten" (COM(2009) 44 final; COM(2009) 279 final; Sousa, 2009). Pero la preocupación principal declarada sigue siendo el cambio climático.

Ambos factores aparecen en el Libro Verde, que constituye una novedad por su tono autocrítico, insólito en la literatura comunitaria, y que lleva a pedir una revisión a fondo de la política de transporte de la UE. Critica la política anterior por varias razones: la incapacidad de financiar el enorme proyecto de la RTE-T a pesar de que "la financiación comunitaria se ha dirigido sobre todo a financiar grandes proyectos ferroviarios de alta velocidad", lo cual supone "una atención desproporcionada a los pasajeros"; muchos proyectos fueron introducidos a partir de intereses nacionales, pero que no contribuían a crear una red europea ("la planificación de la RTE-T no ha sido guiada por objetivos auténticamente europeos"); la variable ambiental debe ser integrada y, en especial, el cambio climático; y el problema de la incertidumbre de los precios del petróleo. Por lo que "todo

ello justifica una revisión a fondo de la política de la RTE-T". Pero no solo la RTE-T, sino también del "enfoque político, necesita una amplia revisión" (COM(2009)44 final). En esencia, la Comisión admite el fracaso de la política anterior y propone unos ejes generales nuevos:

- "Los objetivos del cambio climático debería orientar cualquier enfoque basado en el desarrollo de una red prioritaria". Por lo que "debería evaluarse la vulnerabilidad de la RTE-T al cambio climático" y "plantearse la cuestión de cómo conseguir que las nuevas infraestructuras sean *resilientes al clima*."
- "El enfoque actual basado en proyectos prioritarios podría evolucionar hacia un enfoque basado en *redes prioritarias*."
- "Todos los proyectos de interés común podrían por tanto someterse a un análisis armonizado y comúnmente reconocido de costes-beneficios para determinar su valor añadido europeo" (COM(2009)44 final).

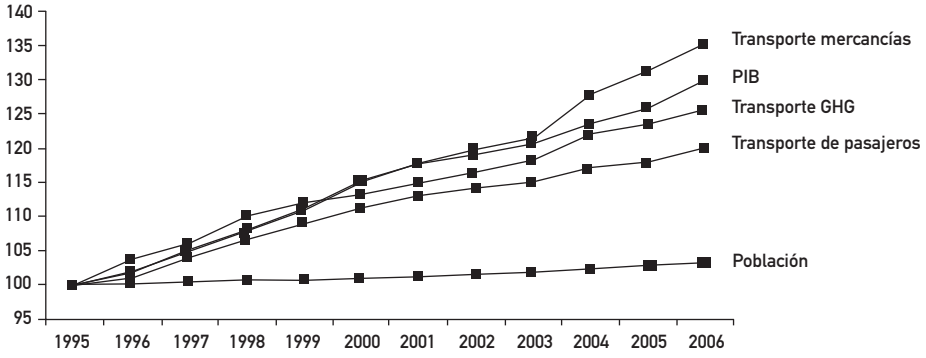
Después, la Comisión abrió un debate sobre las propuestas del Libro Verde y paralelamente puso a trabajar a seis grupos de expertos sobre varias líneas. El resultado fue otra Comunicación que apenas avanza en la definición de la nueva política y que muestra claros retrocesos. Y todo ello a pesar de que la propuesta "de revisión general de las políticas" fue respaldada por la gran mayoría de las 300 contribuciones habidas. La nueva Comunicación deja fuera los elementos más progresistas del Libro Verde. Prácticamente no avanza en la definición de los nodos principales ni, por tanto, en la definición de lo que denomina "red central", es más lógico hablar de redes prioritarias como hace el Libro Verde, y que estará formada "por ejes y nodos de importancia vital para el flujo de transporte en el mercado interior y entre la UE y los países vecinos". Pero es contradictorio declarar que "hay que dar prioridad a la red central" y que "hay que dar la máxima prioridad a los actuales proyectos principales". Por último, insta a los gobiernos a acelerar la conclusión de los mismos, ignorando los retrasos anteriores, la crisis económica y el drástico ajuste presupuestario impuesto por la UE (COM(2010) 212 final).

De todo ello solo queda claro que la UE sigue impulsado el ferrocarril como medio de reequilibrar el reparto modal y, si bien al principio esta política estaba polarizada en la AVF, a finales de la década pasada se enfatiza también el transporte de mercancías, ambos al servicio de la creación de un sistema ferroviario único y liberalizado que reduzca los impactos ambientales y mejore la seguridad energética. Esto queda claro en una Comunicación posterior de la Comisión. Pretende: "contribuir a asentar nuevas formas de movilidad que consuman poca energía y a limitar [...] el cambio climático" y responder a los desafíos de "la seguridad

energética". Así que la "UE debe crear un espacio ferroviario europeo único basado en una red de infraestructuras integrada y equipos interoperables que permitan prestar servicios de transporte sin interrupciones en toda Europa y con los países vecinos" (COM(2010) 474 final).

GRÁFICO 8

EVOLUCIÓN DEL PIB, LA POBLACIÓN Y LAS EMISIONES DE GEI, ASÍ COMO LA DEMANDA DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS Y DE PASAJEROS EN LA UE-27 (1995: 100)



FUENTE: (COM (2009)279 FINAL).

Es coherente con los objetivos de limitar el cambio climático y aumentar la seguridad energética promover un trasvase de mercancías de la carretera al ferrocarril. El gráfico 8 muestra que la causa principal del aumento de las emisiones de GEI en el sector es el transporte de mercancías (hegemonizado por la carretera), por su volumen y ritmo de crecimiento. También parece coherente realizar un trasvase de viajeros del avión al ferrocarril, pero el resultado es mucho menor. Las emisiones de GEI del sector aéreo fueron en 2005 solo un 3,5% del total del transporte en la UE y, aunque se considera que su efecto sobre el clima es mayor debido a la altura en que se emiten, siguen siendo muy inferiores a las del tráfico terrestre. Además, si se pretende lograr el trasvase con AVF, la reducción de GEI es mucho menor, porque ésta duplica las emisiones de un tren convencional. Además, hay que tener en cuenta otros muchos impactos ambientales. Aunque los aeropuertos sellan importantes superficies, éstas no son comparables con las producidas por los modos terrestres, los cuales, además, trocean el territorio. En 2004 las carreteras suponían el 85% de uso de suelo en la UE-15 (Focus Group, 2009: 18). Por otro lado, una política destinada a reducir el peso relativo del avión no es coherente con las múltiples subvenciones públicas a este modo, entre las que

destaca el que el keroseno esté libre del impuesto de combustibles. Además, el ferrocarril no puede competir con el avión en distancias superiores a 500 km, debido a que sus costes de infraestructuras y gestión son muy superiores.

5. TRANSFORMACIONES PREVISIBLES EN EL FUTURO. HACIA UN NUEVO PARADIGMA DE MOVILIDAD

Hemos visto que el paradigma de movilidad que ha dominado hasta hace poco empezó a ser sustituido por otro inverso. La crisis energética consolidará el cambio de paradigma. Así que resultan particularmente desacertados los planes de construcción de grandes infraestructuras de transporte en base a la extrapolación de las tendencias históricas de crecimiento de la movilidad. Resulta indudable que el actual flujo internacional de personas y mercancías se reducirá. La gente priorizará la proximidad de los centros de trabajo y servicios a la hora de comprar la vivienda. Primará vivir en ciudades densas y de tamaño medio que garanticen desplazamientos cortos (y en transporte público) para ir a trabajar, para acceder a servicios, etc. Lo cual multiplicará las necesidades de mejora del transporte público (Faesta, 2007: 43).

En general, se reducirá aún más la velocidad de los modos, aparte de que el trasvase modal de pasajeros y mercancías se produce normalmente hacia modos más lentos. Los tráficos de mercancías por avión, por camión y de coche se reducirán drásticamente. También se producirá una reducción de las distancias recorridas. Se intensificará la tendencia hacia la regionalización del comercio y los desplazamientos de mercancías a larga distancia serán exclusivamente para las de poco peso y alto valor añadido. Un proceso semejante, pero menos intenso, se producirá en el transporte de viajeros. Es muy probable que se abandonen muchos de los proyectos de construcción o ampliación de aeropuertos, puertos y de líneas de AVF. Un problema más complejo es qué hacer con las líneas de AVF. La demanda de viajeros se reducirá mucho y se intensificará el trasvase de mercancías de la carretera al ferrocarril, lo cual obligará a adaptar a ellas las líneas principales. E. Davignon (coordinador para el transporte transpirenaico) tiene clara esa prioridad: "Mi convencimiento es aún mayor [que al principio de su mandato] en cuanto a que la finalidad de estas infraestructuras [los dos corredores de AVF entre España y Francia] evolucionará esencialmente hacia el transporte de mercancías" (Davignon, 2008: 12). A pesar de que el corredor mediterráneo debe llevar mercancías (lo cual es muy caro), porque no hay espacio en la costa para hacer una línea nueva de AVF, sus parámetros constructivos no son adecuados: las pendientes son excesivas y el "escaso número de puestos de adelantamiento y estacionamiento no facilitarán el transporte de mercancías"

(Davignon, 2008: 10). En los desplazamientos de largo recorrido un ferrocarril de velocidad alta (hasta 200 Km/h) será la opción preferente en distancias medias (hasta 500-600 Km). Se atribuye a la AVF un aumento de la capacidad de transportar viajeros, pero se puede lograr con medidas distintas. En la UE es habitual el uso de vagones de dos pisos. Son ejemplos la línea Zurich-París y la de Zurich-Basilea (con 60 viajes diarios). Se puede utilizar la franja nocturna, como es habitual en Alemania (Whitelegg, 2009; Focus Group, 2009: 18).

Los medios colectivos se verán desbordados por el trasvase de viajeros del coche a ellos. Esta situación se puede paliar con la promoción de los desplazamientos no motorizados, que en muchas ciudades se están fortaleciendo rápidamente. Una idea de su potencial lo da el hecho de que en la UE el 50% de los desplazamientos en coche sean de distancia inferior a 5 Km y el 30% de menos de 3 Km, por lo que pueden realizarse de forma no motorizada, en bici o andando. Esta tendencia es muy importante, además, por el ahorro de energía que provoca y porque reduce la necesidad de construir nuevas infraestructuras (Comisión Europea, 2007).

En la aviación se producirá una fuerte reducción de la actividad. Nygren (2009) plantea tres escenarios de crecimiento de la demanda de combustible en función de la evolución de la eficiencia (ninguna mejora de la eficiencia, aumento del 25% para 2020 y aumento del 50% para esa fecha) con la premisa de un crecimiento anual del tráfico del 5% (tal como preveían en 2007 Airbus y Boeing) y los compara con dos escenarios de oferta de petróleo. Uno contempla el techo a mediados de la década próxima, después la extracción declinará suavemente. El otro lo prevé en 2005, pero luego se mantiene en una meseta hasta 2010 y después declina con cierta rapidez. Solo en los casos de mayor oferta de petróleo y de aumento de la eficiencia del 50% no habría problema de abastecimiento de keroseno hasta 2020. Pero en el caso de peor oferta de petróleo y mejor eficiencia, la oferta de keroseno satisfaría la demanda solo hasta 2010.

Como consecuencia de la crisis del sector aéreo, se fortalecerá el ritmo de fusiones de compañías. La gran mayoría de las compañías de bajo coste desaparecerán, porque los altos costes de los combustibles dejan poco margen para reducir otros. Muchos aeropuertos pequeños tendrán que cerrar, debido a la desaparición de las compañías de bajo coste y a la disminución o eliminación de las subvenciones de los gobiernos regionales y porque las compañías convencionales intensificarán el proceso actual de eliminación de esos vuelos. Los déficits que soportan la gran mayoría de los aeropuertos se incrementarán y los gobiernos no podrán seguir manteniéndolos, en una situación de crisis con los ingresos decayendo y multiplicándose las demandas de gasto en servicios esenciales. Esto es especialmente relevante para España.

En el transporte de mercancías se intensificarán los procesos de trasvase de la carretera al ferrocarril y al barco en recorridos largos. Pero, aunque resulta difícil

realizarlo (con carácter generalizado) en trayectos inferiores a 200 kilómetros, sus altos costes llevarán a buscar nuevas formas de reducir su uso. Se empiezan manifestar algunas tendencias en este sentido. Una es que se busca acercar el tren lo más cerca posible a las zonas de distribución. Los ferrocarriles franceses inauguraron en 2008 un servicio de trenes de mercancías que llegan hasta la estación parisina de Bercy y desde allí se distribuye la carga en furgonetas por las tiendas de una importante cadena de distribución. Otro caso se da en las llamadas "autopistas del mar" (servicios regulares entre puertos), donde se suele emplear en método *roll-roll* (transportan los camiones sin las cabezas tractoras y en los puertos de destino otros transportistas las recogen). Un caso ejemplar es la empresa Transfennica, que en 2007 estableció este sistema entre los puertos de Bilbao y Zeebrugge (Bélgica). En 2009 pasó de utilizar un barco a tres (Puerto de Bilbao, 2009 septiembre). También tienen enlaces semejantes los puertos de Gijón, Vigo y los principales del Mediterráneo. La zona de distribución con este sistema es mucho más pequeña que la de los grandes puertos, que ha venido distribuyendo las cargas por grandes *hinterlands.* Por ello verán disminuir su hegemonía, se priorizará la distribución por ferrocarril en desplazamientos largos (Bermejo, 2009: 114-117).

Así que los mayores problemas de capacidad se producirán en los transportes de viajeros de cercanías y en el de mercancías por ferrocarril. Por el contrario, las carreteras y los aeropuertos se verán infrautilizados. Pero los modos receptores (ferrocarril y barco) tienen los ratios más bajos de mejora de la eficiencia energética, por lo que deberán avanzar fuertemente en este campo. Se intensificará el uso del viento en los barcos para ahorrar energía.

Hasta aquí hemos hecho un análisis del futuro previsible de cada uno de los modos por simplicidad de estudio, pero nos encontramos ante un sistema de transporte y lo que le ocurre a un modo tiene repercusión en los otros. Por eso esta interrelación sistémica ha aparecido regularmente en la exposición, aunque de forma puntual. Frecuentemente se afirma la necesidad de mejorar la intermodalidad, lo que supone la necesidad del enfoque sistémico: de integrar el funcionamiento de los modos existentes para que se complementen. Pero en la práctica de muchos países tal enfoque no se aplica. Por ejemplo, es casi una norma en España que cuando se construye una infraestructura (puerto, aeropuerto, etc.) carezca de las infraestructuras necesarias de acceso a la misma, salvo la carretera (son ejemplos el puerto y el aeropuerto de Bilbao). Hemos visto que el Libro Verde propugna encarecidamente una red integrada e intermodal de transporte, como es habitual en lo países líderes de la UE. La baja capacidad de financiar nuevas infraestructuras en tiempo de crisis va a obligar a una mejora continua del sistema de transporte.

CAPÍTULO 13

ELEMENTOS DE UNA ECONOMÍA SOLAR

1. INTRODUCCIÓN

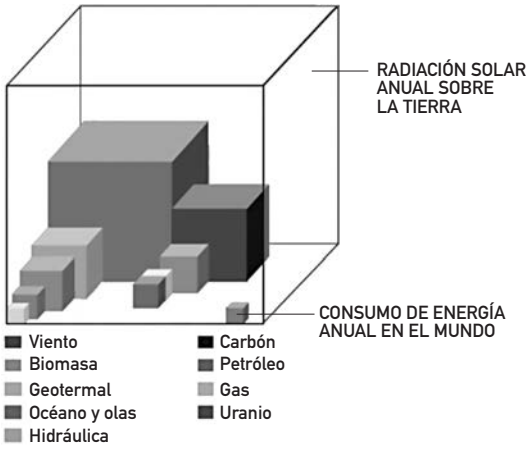
A primera vista, parece que la promoción de la eficiencia y de las energías renovables supone solo realizar una revolución tecnológica: sustituir las tecnologías de uso energético de los combustibles fósiles por otras que consigan una eficiente captación y uso de la energía solar. Pero un análisis más profundo nos muestra una transformación energética mucho más compleja. El paulatino agotamiento de los combustibles fósiles supone la pérdida de un modelo energético que tiene múltiples cualidades. Son recursos de gran densidad energética (tienen mucha energía por unidad de peso), de fácil manejo. Además, constituyen la materia prima de una cantidad enorme de productos que son omnipresentes en nuestra vida cotidiana. Así que una alternativa energética sostenible tiene que ser capaz de ofrecer los servicios que el modelo actual viene ofreciendo.

Las energías renovables ofrecen: sostenibilidad; abundancia; bajo nivel de impactos ambientales; adecuación a una economía descentralizada al ser difusas; seguridad de abastecimiento; generación de muchos más puestos de trabajo que las convencionales por unidad de inversión; etc. Sin embargo, deben ser superados los múltiples obstáculos que dificultan su despliegue: insuficiente maduración tecnológica, lo cual obliga a multiplicar la inversión en I+D; ingente inversión necesaria para sustituir a las energías no renovables (esta

inversión puede reducirse mucho si se aprovecha el enorme potencial existente de ahorro y eficiencia energética); escasez de algunos de los materiales imprescindibles para construir los sistemas de captación actuales; etc. Además de los obstáculos inherentes al desarrollo del nuevo sistema energético, nos encontramos con los derivados de los intereses del sistema de poder existente. Éste quiere, por un lado, mantener el actual modelo de producción eléctrica centralizada y, por otro, extender primero la actual escala estatal del mercado a otra europea, para después extenderla a los países del entorno. Esta red se alimentaría de las fuentes convenciones y de masivas instalaciones de producción renovable situadas en lugares privilegiados. Además, ese sistema de poder impulsa los agrocombustibles, la energía nuclear (según la UE para mantener el liderazgo tecnológico) y mantiene grandes subvenciones a las energías convencionales, fondos que son necesarios para el rápido despliegue de una economía solar.

GRÁFICO 1

EL POTENCIAL FÍSICO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES



FUENTE: EPIA (2010C).

Las energías renovables están distribuidas por todo el planeta y numerosos estudios muestran que su potencial es muy superior a nuestras necesidades. Según las conclusiones de una conferencia sobre las energías renovables organizada por el *U.S. Department of Energy* (DoE), a la que asistieron 200 científicos de América, Asia y Europa, la radiación sobre el 0,16% de la superficie terrestre podría suministrar 20 Terawatios (Tw) de electricidad fotovoltaica (con un rendimiento del 10%), cuando el consumo

mundial es de 13 Tw (Lewis *et al.*, 2005: 9). El gráfico 1 muestra que todas las fuentes renovables pueden dar más energía que la consumida ahora y que la solar y la eólica tienen un potencial mayor que las fuentes convencionales, a pesar de que se exagera el potencial nuclear y del carbón.

Este capítulo define las líneas maestras de un sistema energético sostenible, evalúa su desarrollo actual y evolución previsible, pero se centra solo en la generación eléctrica y, además, limita este campo a los tres sistemas tecnológicos principales (eólica, fotovoltaica y electricidad solar-termal) por espacio. Aparte de ello estudia la eficiencia, redes y almacenamiento. En el capítulo siguiente analizaremos los combustibles renovables.

2. ESTRATEGIAS DE DESPLIEGUE DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

A lo largo de los últimos años organismos como el Consejo Europeo de Energía Renovable, el Consejo Mundial de Energía Renovable, el German Advisory Council on Global Change y otros han propuesto estrategias de desarrollo de las energías renovables. Estos hechos, junto con la necesidad de parar el cambio climático y muy probablemente la preocupación (no declarada) por la escasez de petróleo, dieron lugar a que el Consejo Europeo de Bruselas (marzo de 2007) aprobara un "Plan de Acción" vinculante con los siguientes objetivos de las energías renovables para 2020: incremento en un 20% de la eficiencia energética; aportación del 20% de las energías renovables al consumo total; y como rasgo negativo un mínimo del 10% de contribución de los agrocombustibles al consumo total, rasgo que la Directiva 2009/28/CE modificó, de forma que el 10% debe ser alcanzado por la electricidad (vehículos eléctricos), el hidrógeno y los agrocombustibles. Además, el 26 de enero de 2009 se produjeron dos hechos de gran importancia: se constituyó IRENA (*International Renewable Energy Agency*) en Bonn y el presidente Obama expuso las líneas maestras de su política energética, basada en las energías renovables. Representantes de 75 Estados aprobaron en Bonn los Estatutos de IRENA en 2009; sus objetivos generales son: "ayudar a generar un crecimiento masivo de las renovables y a reducir la rivalidad mundial por el acceso a las energías fósiles" (The Federal Government, 2009). Los Estatutos definen otros objetivos como: "actuar como facilitador y catalizar" y "ofrecer apoyo en todos los asuntos relacionados con las energías renovables" (www.irena.org). El plan energético del presidente Obama pretende duplicar la potencia renovable instalada en tres años y dar un fuerte impulso a la eficiencia. Para 2025 establece que el 25% de la electricidad sea de origen renovable (10% en

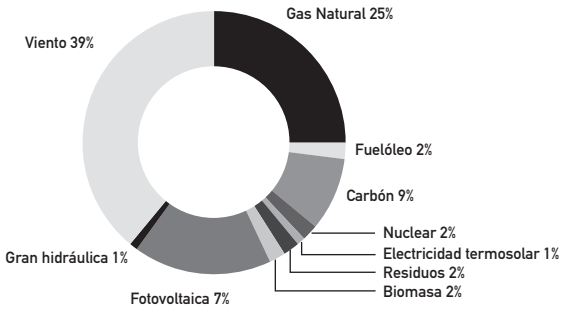
2012). Y todo ello para obtener la "independencia energética" y que "América no sea rehén de recursos menguantes" (Tverberg, 2009).

Más de cien países tienen algún objetivo de energía renovable y en la mayor parte de ellos el objetivo es alcanzar el 15-25% en energía primaria o electricidad para 2020. Algunos gobiernos de la UE pretenden incluso sobrepasar los objetivos que la Unión les asigna. China está desarrollando fuertemente las renovables y elevando periódicamente sus objetivos. En 2009 tenía instalados 226 Gw (un cuarto del total de la potencia instalada), de los que 197 eran hidráulicos, pero la potencia eólica instalada se multiplicó por 30 entre 2005 y 2009. En 2009 fue el país que más potencia instaló. La estrategia del gobierno chino de 2010 prevé que para 2020 la potencia renovable acumulada sea de 500 Gw (300 hidráulicos, 150 eólicos, 30 de biomasa y 20 fotovoltaicos): darían un 15% de la energía primaria. Japón dio en 2008 un giro radical a su política volcada en la energía nuclear, y, sin renunciar a ella, pretende convertirse en la nación líder en renovables (Martinot y Junfeng, 2010). La Comisión considera que con la dinámica actual de desarrollo de las renovables se cumplirá el objetivo del 20% de la energía primaria. Pero cambia el discurso, ahora se trata de promocionar las energías libres de carbono, entre las que introduce a la nuclear, por lo que se defiende que sea analizada "abierta y objetivamente" (COM(2010) 639 final).

Es tal el ritmo de crecimiento de las renovables que, a escala mundial, en 2009 la inversión en ellas fue el 48% del total. En la OCDE la potencia eléctrica renovable supera a la convencional desde 2008. En la UE ésta fue el 53% del total en 2008 y en 2009 el 62%. Un estudio financiado por la Comisión prevé que entre 2015 y 2020 ese ratio será casi del 80%. El gráfico 2 muestra que domina la inversión en eólica y fotovoltaica; el resto es casi exclusivamente en centrales de gas (que domina en este apartado) y carbón (COM(2010) 639 final).

GRÁFICO 2

POTENCIA INSTALADA EN 2009



FUENTE: EREC, 2010A: 13, WWW.EREC.ORG

El Consejo Europeo de Energías Renovables (EREC) presentó en 2010 dos estrategias, elaboradas sobre bases diferentes, para 2050. La primera está elaborada según las proyecciones de cada sector de renovables; la segunda, promovida junto con Greenpeace, ha sido elaborada por el Institute of Technical Thermodynamics de Alemania. Ambos estudios pretenden alcanzar una economía solar en 2050 en un marco de gran eficiencia. La primera estrategia tiene dos escenarios que se diferencian en el énfasis en la eficiencia y el segundo (el de la "eficiencia agresiva") alcanza una mejora de la misma un 30% superior a la del primero. En el lado negativo se encuentran las estimaciones exageradas de algunos sectores de renovables, en base a desarrollos tecnológicos no contrastados, y aceptar las estimaciones de la Comisión Europea sobre los precios futuros del petróleo: 60$/b y 100$/b en 2020 (a ellos EREC añade el de 120$/b en 2030). La fuente que más energía aportaría al consumo final sería la biomasa (359,1 Mtep), la geotérmica (188 Mtep), solar (155,1 Mtep), eólica (133,5 Mtep), fotovoltaica (116 Mtep), hidráulica (38,5 Mtep) y oceánica (14 Mtep). Es muy discutible que, teniendo la UE una balanza agrícola exterior muy negativa, convierta a la biomasa en el sector energético dominante en 2050, y que la geotermia se convierta en el segundo sector a partir de 2030, cuando iniciaría un crecimiento explosivo. Tanto en energía primaria como en electricidad el objetivo es alcanzar el 100% renovable en 2050. El *mix* eléctrico sería: eólica (1552 Mtep), la fotovoltaica (1347 Mtpe), geotérmica (601 Mtep), biomasa (496 Mtep), hidráulica (448 Mtep), solar-termal (385 Mtep) y oceánicas (158 Mtep) (EREC, 2010b: 72).

La otra estrategia, ®evolution, se basa en tecnologías probadas. Pretende alcanzar en 2050 un 97% de electricidad renovable y un 92% de calor. El 3% de la electricidad que falta será cubierta con plantas de cogeneración, que queman gas natural. Y la mayor parte del 8% que falta en calor serán gasolinas utilizadas en el 38% de los vehículos. Establece dos escenarios, el básico y el avanzado. El segundo prevé un desarrollo más rápido de las renovables, un más temprano trasvase modal de pasajeros y mercancías al ferrocarril y un uso intensivo de vehículos eléctricos, que alcanzaría el 14% del mercado en 2030 y el 62% en 2050. Ello lleva a que en 2050 la demanda eléctrica del transporte alcance 1.240 Twh/a, frente a 850 Twh/a en el escenario básico. La apuesta por la eficiencia es muy fuerte en ambos escenarios: frente a un consumo energético de 73.880 Pj/a en 2007, en 2050 solo será de 45.000 Pj/a (avanzado) y 46.000 Pj/a (básico). Un objetivo intermedio es estabilizar el consumo energético en dos décadas. Prevé que el 60-70% de la

energía generada provendrá de plantas pequeñas (el resto será producido por grandes parques eólico marinos y grandes plantas solar-termales en el cinturón solar), propiedad de muchos pequeños productores, así que las empresas eléctricas tendrán un papel principal de proveedoras de servicios. El sistema eléctrico tendría múltiples redes locales (*smart grids)* y grandes líneas de transporte (*supergrids*). En el escenario avanzado destacan la eólica y fotovoltaica, con cerca de 500 Gw cada una, seguidas de la biomasa, la geotérmica y solar-termal con potencias de unos 100 Gw. Los escenarios se basan en varias premisas: en 2050 el precio del petróleo será 124$/b; no prevén escasez de gas, pero sí que su precio suba bastante; el conjunto de las renovables alcanzaría la paridad de costes en 2030; y la escasez de tierra limita el desarrollo de la biomasa (EREC y Greenpeace, 2010). Los objetivos de electricidad renovable se ven facilitados por el envejecimiento de las instalaciones de energías convencionales. Según la Comisión, más de un tercio de ellas deberán cerrar para 2020 (COM(2010)639 final). El principal defecto de las estrategias es ignorar los techos del petróleo y del gas. Ello provoca que el primero juegue aún un papel importante en el transporte en 2050. Ignorar el techo del gas provoca que las renovables no alcancen la paridad de costes hasta 2030, en contra de la gran mayoría de las previsiones. Por último, no se contempla el hidrógeno, a pesar de ser una pieza clave del transporte y de un sistema energético renovable.

Un estudio para el Parlamento Europeo de varias empresas y organismos alemanes sobre los potenciales técnicos de la nueva generación de tecnologías de generación eléctrica, aunque no sea una estrategia, sirve para contrastarlo con los estudios anteriores. No analiza la eólica terrestre porque la considera madura. La eólica marina, fotovoltaica y termo-solar constituyen las tecnologías principales. El potencial de la primera es equivalente al 85% del consumo actual (con la eólica terrestre supera ampliamente este consumo). El potencial fotovoltaico es mayor que el consumo actual. Y el termosolar es un 50-67% del consumo. El potencial de la biomasa depende de las tecnologías utilizadas, pero es más limitado que el de las tres citadas por la escasez de tierra. No establecen el potencial geotérmico por las incertidumbres existentes, siendo actualmente la geotermia la más costosa con diferencia, mientras que las otras energías tienen costes semejantes. Así que coincide con los dos estudios anteriores en la hegemonía de la electricidad eólica y fotovoltaica. Rebaja mucho el potencial de la biomasa y el geotérmico y refuerza el papel de la termo-solar. En el periodo 2020-2030 los costes bajarán mucho para todas, pero minusvalora la capacidad de reducción del

coste fotovoltaico. Y la geotermia sigue siendo la más cara (LBST *et al.*, 2010*a*).

3. EFICIENCIA

El crecimiento económico mundial está produciendo un aumento del consumo eléctrico mayor: un incremento del 1% en el primero se traduce en un crecimiento del 2% del segundo. Y ello a pesar de que durante décadas numerosos estudios han venido mostrándonos que existe un enorme potencial de ahorro y eficiencia energética rentable, especialmente de electricidad, por la gran ineficiencia de nuestro modelo energético. Los factores de ineficiencia son principalmente los bajos rendimientos de los motores de explosión, de la generación eléctrica no renovable y que los edificios son ineficientes. El rendimiento energético de un automóvil está en torno al 20% y solo el 1% de la energía consumida es utilizada para desplazar al pasajero. Dos tercios de la energía primaria se disipan en los procesos de conversión en energía final, en energía útil. Un estudio del Consejo de Asesores en Ciencia y Tecnología del Presidente de EE UU muestra que el rendimiento de la generación y distribución de electricidad es solo del 32% y que dominan los modos de transporte menos eficientes: aparte del rendimiento citado del coche, el del avión es del 25% y el del barco, 40%. Los edificios en la UE consumen el 40% de la energía. Así que la mejora de la eficiencia del sistema energético pasa por transformar estos sectores (PNUD *et al.*, 2001: 13; President`s Council of Advisors, 2006).

El PNUD y otras instituciones estiman que en los países industrializados se puede ahorrar de forma rentable entre un 25% y un 35%, principalmente en el proceso de convertir la energía en servicios (transporte, iluminación, calefacción, etc.) (PNUD *et al.*, 2001: 13). La UE es un 50% más eficiente que EE UU y ha establecido el objetivo de mejorar la eficiencia en un 20% para 2020. El Consejo alemán WBGU (2003) recomienda que en la UE la eficiencia crezca un 1,4% al año, para pasar cuanto antes a 1,6%. Pero cayó del 1,4% en la década de los noventa al 0,5% actual. Con el 1,6% se conseguiría multiplicar por 3 la eficiencia en 2050 en relación con 1990. Hemos visto que la estrategia de EREC-Greenpeace (2010*b*) pretende reducir el consumo energético de 73.880 Pj/a en 2007, a 45.000-46.000 Pj/a en 2050. Pero la Comisión afirma que la eficiencia no está avanzando lo necesario para lograr el objetivo de 2020 (COM(2010) 639final).

4. SISTEMAS TECNOLÓGICOS PRINCIPALES

4.1. EÓLICA

Numerosos estudios muestran que el potencial eólico existente permite satisfacer las necesidades de electricidad del mundo. La AEMA estima que el potencial bruto (sin tener en cuenta consideraciones sociales, económicas y ambientales) de la energía eólica es 20 veces (la eólica marina aportaría 6-7 veces) el consumo energético estimado para la UE en 2020 (AEMA, 2009). A medida que la tecnología eólica se desarrolle crecerá el potencial disponible debido a que los generadores más grandes aumentan la energía producida por unidad de superficie y la bajada de costes (2-3% al año) aumenta el umbral de velocidad de viento rentable. Una idea del aumento del tamaño de las turbinas nos la da Dinamarca. En la década de los ochenta se necesitaban 100.000 generadores para satisfacer el 10% de la demanda eléctrica; 5.590 satisfacían el 20% de su demanda en 2004; y se estima que 1.780 generadores satisfarán el 50% de su demanda en 2025. En 2010 se comercializaban generadores de 4-7,5 Mw de potencia (los de más de 5 MW solo se instalan en el mar) y se pretende alcanzar los 15 Mw, pero no se espera que siga la escalada. En Europa los costes han bajado desde 35 c$/Kwh en la década de los ochenta a entre 4 y 8 céntimos (dependiendo de la calidad de los parques) en la actualidad. La electricidad eólica es ya la de menor coste en las zonas de mejores condiciones de viento (EWEA, 2006: 27; de Vries, 2009; Paris, 2009).

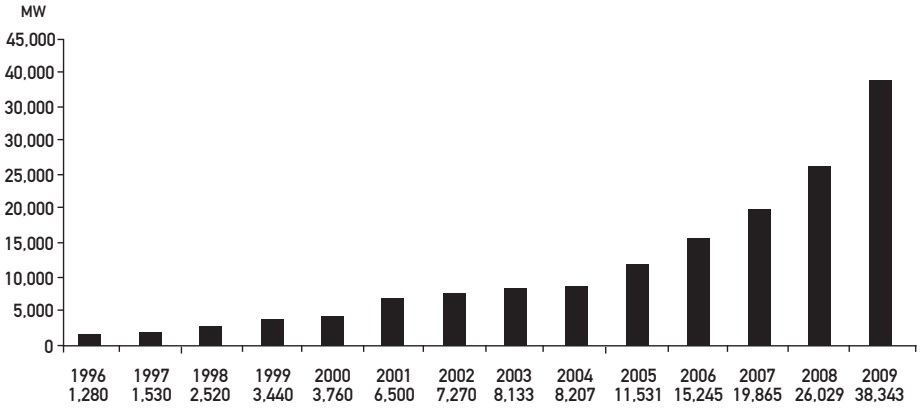
La potencia eólica instalada anualmente en el mundo viene creciendo al ritmo anual medio del 28%, pasando de 15.244 Mw en 2006 a 37.466 Mw en 2009. El GWEC prevé 40.000 Mw en 2010. El hecho de que 2009 fuera el peor año de la crisis económica y que la potencia aumentara en un 42% indica la fortaleza del sector, aunque China fue el factor principal. Pasó de 6.300 Mw (2008) a 13.000 Mw (2009). El avance de EE UU fue importante (de 8.358 a 9.922 Mw, 17,8%). En Europa se pasó de 8.900 Mw en 2008 a 10.102 Mw (aumento del 23%), siendo los países más importantes: España (2.459 Mw), Alemania (1.917 Mw), Italia (1.114 Mw), Francia (1.088 Mw) y Reino Uunido (1.077 Mw). En 2009 la aportación de la energía eólica al consumo eléctrico era en la UE del 4,2% y destacaban cinco países: Dinamarca (20,3%), España (14,5%), Portugal (11,4%), Irlanda (9,3%) y Alemania (7%) (Eurobserv-er, 2010; EWEA, 2009*b*: 26).

La potencia mundial acumulada fue 160 Gw, desglosada así: EE UU (35.159, 22,3%); Alemania (25.777 Mw, 16,3%); China (25.104 Mw, 15,9%); España (19.149 Mw, 12,1%); la India (10.926 Mw, 6,9%); Italia (4.850 Mw, 2,5%) y siguen Portugal, Francia, Reino Unido y Canadá. El liderazgo de

Alemania y España está perdiendo peso relativo en la UE por el impulso de los otros países y el de Europa en el mundo por las dinámicas de China y EE UU. Pero el desarrollo de la eólica marina reforzará la posición europea. El GWEC prevé 200 Gw en 2010 (Eurobserv-er, 2010; www.gwec.org).

GRÁFICO 3

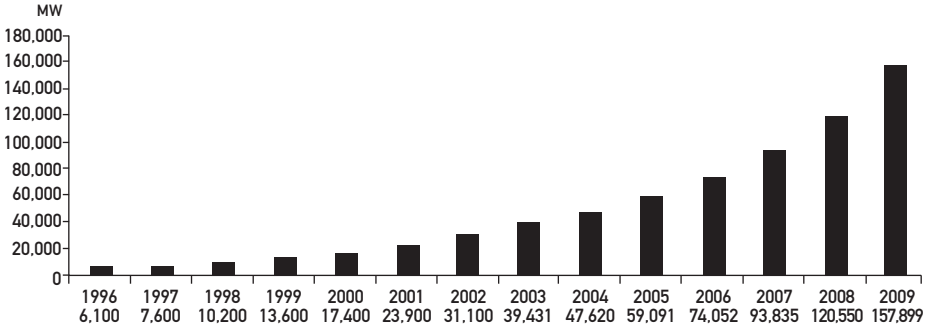
POTENCIA EÓLICA INSTALADA ANUALMENTE EN EL MUNDO EN 2009



FUENTE: GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (2010: 12).FUENTE: GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (2010: 12).

GRÁFICO 4

POTENCIA MUNDIAL ACUMULADA EN EL MUNDO 1997-2009



FUENTE: GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (2010: 12).

Por regiones, Asia alcanzó el liderato de la potencia instalada en 2009 con 39,5% del total. Le siguen Norteamérica (29,4%) y Europa (27,3%), pero el resto del mundo solo instaló el 3,9% restante, lo cual demuestra que la energía

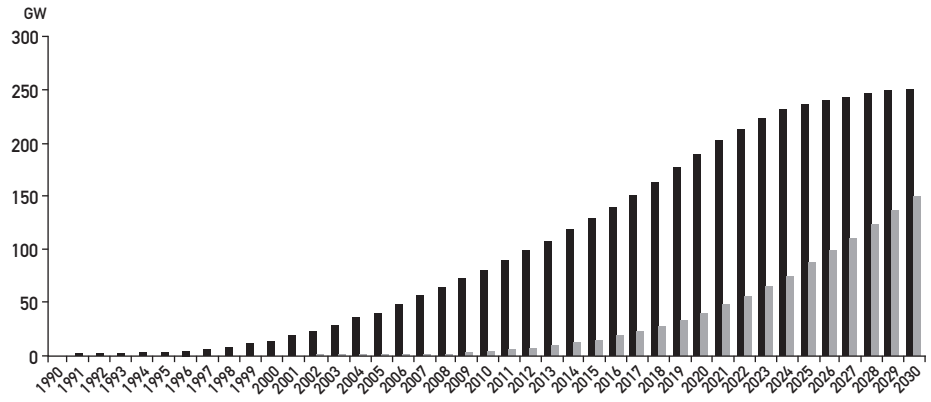
eólica sigue desarrollándose en tres regiones, aunque en 2009 empezaron a destacar Brasil (264 Mw), Chile (148 Mw) y México (117 Mw). A escala mundial el Wind Global Energy Council (WGEC, 2010: 8-10) prevé en un escenario intermedio que el crecimiento pasaría del 27% en 2010 (40 Gw) al 9% en 2020 (pero instalando 90 Gw/año) y al 5% en 2030 (150 Gw/año). Su aportación al consumo sería: 2,4% (2010), 8,9% (2020) y 15,1% (2030). China, EE UU y los países del mar del Norte van a ser determinantes en el cumplimiento de esas previsiones. China ha venido elevando los objetivos de potencia a alcanzar en 2020 desde 2007 (20.000 Mw) hasta 150.000 Mw en 2010, pero los analistas prevén que superará esta cota.

Las previsiones de crecimiento de la energía eólica que se han venido realizando para la UE en los últimos quince años han sido revisadas al alza muchas veces. Entre 1996 y 2006 los objetivos de la Comisión Europea para 2010 y 2020 se multiplicaron por 10. La AIE pasó de unas previsiones en 2002 para Europa de 33 Gw (2010), 57 Ww (2020) y 71 Gw (2030) a las siguientes en 2008: 140 Gw (2015); 183 Gw (2020) y 217 Gw (2030). La European Wind Energy Association (EWEA) prevé 180 Gw terrestres y 40 Gw marinos en 2020, y 400 Gw en 2030 (250 Gw terrestres y 150 Gw marinos). Y debido a que el viento es más elevado y constante en el mar, los 150 Gw marinos producirán tanta electricidad como los terrestres. Su cuota de mercado eléctrico pasaría del 4,2% en 2009 al 14,3-16,6% en 2020 y para 2030 al 26,2-34,3%. Ambos pares de estimaciones corresponden a dos escenarios de la Comisión Europea, el de extrapolación de tendencias y la *New Energy Policy* (COM(2010)639final). El ritmo de reducción de costes, que ha sido pequeño en los últimos años, aumentaría mucho a partir de 2010, alcanzando en 2030 alrededor del 20% (EWEA, 2009*b*, 2010). El gráfico 5 ofrece la previsión de la EWEA de aumento de la potencia instalada. La curva superior muestra la acumulación de potencia terrestre, que tiende a reducirse a partir de 2020 (describiendo la clásica forma en S de desarrollo de un producto) hasta alcanzar los 250 Gw. La curva inferior describe una evolución parecida a la terrestre, pero con un retraso de quince años, hasta alcanzar los 150 Gw para 2030 y seguir creciendo.

La eólica marina está despegando en Europa debido a su larga experiencia en el sector y a que en el mar del Norte tiene unas condiciones ideales de viento y profundidad, lo cual le permite instalar turbinas asentadas en el fondo marino. Se prevé que el viento más abundante del mar compense primero, y después supere, el sobrecoste de instalación. Para alcanzar el objetivo citado de instalar 40 Gw en 2020 se necesita un crecimiento anual medio del 28%. En 2009 se instalaron 420 Mw, a mediados de 2010 estaban instalados 773 Mw

GRÁFICO 5

POTENCIA ACUMULADA DE ENERGÍA EÓLICA TERRESTRE Y MARÍTIMA EN LA UE



FUENTE: EWEA (2009B: 45).

y en construcción estaban 3.200 Mw, por lo que se puede afirmar que 2010 es el año de despegue. Gran Bretaña distribuyó en 2010 licencias de instalación que suman 40 Gw. La EWEA (2009*b*) estima que entre 2009 y 2020 la potencia terrestre crecerá al ritmo anual del 7,3%, mientras la marina lo hará al 28,7%. La eólica de plataforma fija se está desarrollando principalmente en profundidades menores de 20 metros y a distancias de la costa menores de 20 Km, pero estos parámetros crecen (EWEA, 2009*a*: 16; 2010).

Sin embargo, en gran parte de las costas del mundo la plataforma continental alcanza rápidamente profundidades superiores, por lo que las turbinas flotantes deben ser la opción principal para la mayoría de los países marítimos. La EWEA (2009*a*: 51) afirma que en el caso europeo, "para aprovechar el potencial de aguas profundas, tales como las de la costa de Noruega, el Atlántico y el mar Mediterráneo, se requieren diseños flotantes". Como la mayoría de la población mundial está concentrada en las costas, instalar en el mar turbinas flotantes a unos 10 Km de la costa constituye una opción ideal, al no necesitar la construcción de largas líneas. Un nutrido grupo de compañías están dando pasos hacia su comercialización. Utilizan tecnologías diversas que tienen en común el anclaje al fondo mediante tirantes y diseños tendentes a evitar el cabeceo de las turbinas. Si bien la atención se ha venido centrando en el aprovechamiento exclusivo del viento, se están empezando a desarrollar proyectos de grandes plataformas que aprovechan también la energía de las olas (EWEA, 2009*a*; 2009*b*: 51-52). En el recuadro siguiente se muestran las iniciativas más importantes.

La compañía holandesa Blue H. Technologies construye turbinas Diwet de dos aspas (para reducir el cabeceo) con columna flotante. Tras probar con éxito un prototipo en el Adriático, ha llegado a acuerdos con el Instituto de Tecnología Marina (Gran Bretaña) para probar una turbina de 5 Mw en diversas profundidades y con los gobiernos francés e italiano para experimentar una turbina de 3,5 Mw. Tiene proyectado instalar un parque de 92 Mw en el sur de Italia. La empresa noruega Sway ha desarrollado un aerogenerador de columna en el que la góndola se coloca delante en la dirección del viento, lo que provoca una inclinación hacia delante que corrige el impulso del viento. Ha llegado a un acuerdo con Areva para comercializarlo en 2013. En 2011 instalarán un prototipo de 5 Mw. En 2009 las empresas StatoilHydro y la alemana Siemens instalaron en la costa noruega en 2009 una turbina piloto (Hywind) de 2,3 Mw. La van a testar hasta 2011. La Compañía Nass&Wind Offshore instalará entre 2010 y 2011 uno (2,5 Mw) en Bretaña y otro de 5 Mw entre 2013 y 2015. Principle Power (EE UU) construye turbinas instaladas en una plataforma semejante a las de petróleo, pero adaptadas para evitar el cabeceo. Ha llegado a un acuerdo con el gobierno portugués para instalar un prototipo en 2011 y posteriormente un parque de 250 Mw. Además, hay dos empresas que desarrollan grandes plataformas para aprovechar la energía del viento y las olas. La empresa danesa Floating Power Plant probó entre 2008 y 2011 la plataforma Poseidon37, de 360 t y 37 m de ancho, que cuenta con un eficiente sistema de captación de la energía de las olas y tres generadores pequeños. Después construirán una plataforma comercial de 230 m y de 20-30.000 t, con tres aerogeneradores de 1,5-2,0 Mw o uno de 5 Mw. La plataforma Hexicon (de la empresa sueca Hexicon AB) tendrá 360 m de diámetro y aprovechará la energía eólica, de las olas y de las corrientes. Tendrá 6-7 aerogeneradores y una potencia total de 40-60 Mw, pero no tiene fecha de prueba (www.winpowerengineering.com; www.floatingpowerplant.com).

4.2. FOTOVOLTAICA

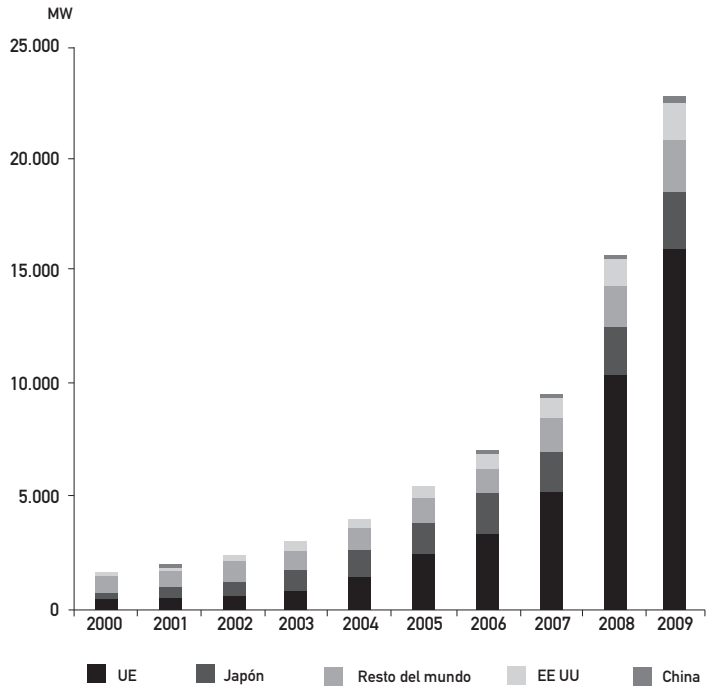
La fotovoltaica tiene múltiples propiedades: gran potencial energético; costes mínimos de mantenimiento, por carecer de partes móviles; larga vida (más de treinta años); versatilidad, al poder producir electricidad desde algunos miliwatios hasta cientos de Mw; se pueden instalar en edificios y formando parte de las fachadas y tejados; y, como todas las tecnologías solares, su producción se adapta muy bien a las variaciones de la demanda diaria. La UE-27 podría producir toda la electricidad que necesita cubriendo el 0,70% de su territorio. Según la AIE, se obtendría toda la electricidad que consume el mundo utilizando el 4% de la superficie de los desiertos (EPIA-Greenpeace, 2007: 11, 14).

El gráfico 6 muestra la potencia anual instalada en el mundo por países y regiones más importantes. En 2008 Europa instaló 4.503 Mw, lo que supuso un aumento de más del 150%. Este salto fue debido a que España tuvo un crecimiento

explosivo, por poner una prima inicial alta, mantenerla y ampliar la potencia subvencionable en 2007. Pasó de 26 Mw instalados en 2005 a 2.700 Mw en 2008. En el mundo se instalaron 5.559 Mw (más de un 130% en relación con 2007). Sin embargo, en 2009 el aumento se redujo mucho. Se instalaron en el mundo 7.500 Mw (37% de aumento), de los que unos 5.500 Mw fueron en Europa (75% del total). Alemania siguió siendo líder con unos 3.800 Mw y, entre el resto, destacan por su progresión Italia (730 Mw, 333 Mw en 2008) y la República Checa (411 Mw, 50 Mw en 2008). En España se instalaron 180 Mw, lo que indica la magnitud del frenazo del gobierno español. Además, destacan Japón (484 Mw, 230 Mw en 2008) y EE UU (475 Mw, 342 Mw en 2008). China solo instaló 215 Mw. En España, la fotovoltaica aportaba en 2009 el 3% del consumo eléctrico y en Alemania, el 1%. Se prevé que en 2010 la potencia instalada alcance unos 16.000 Mw (>100% de aumento), lo que muestra una dinámica imparable, causada por el desplome de los costes (EPIA, 2010*a*; Eurobserv-er, 2010).

GRÁFICO 6

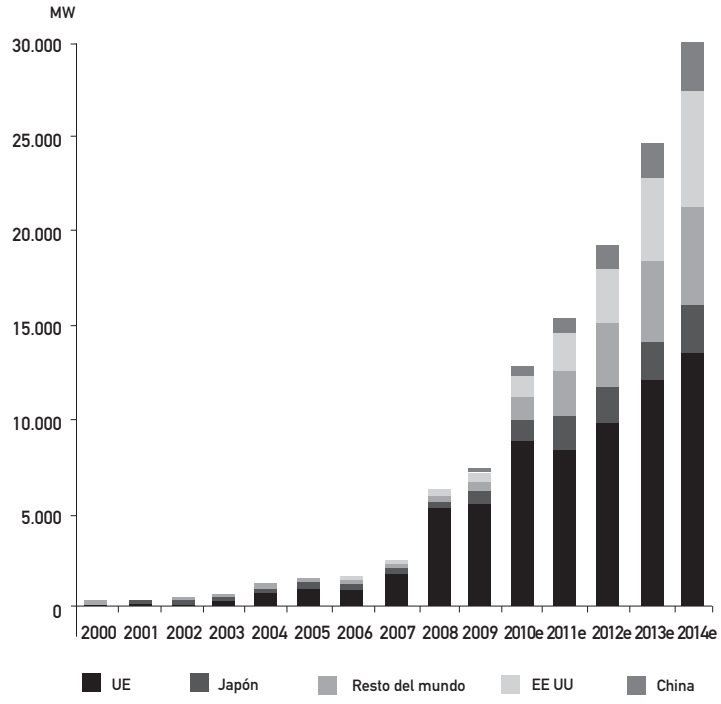
POTENCIA ANUAL INSTALADA ACUMULADA POR REGIONES Y PAÍSES PRINCIPALES



FUENTE: EPIA (2010A: 5).

GRÁFICO 7

DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE LA POTENCIA MUNDIAL PRODUCIDA Y PREVISTA HASTA 2014



FUENTE: EPIA (2010A: 9).

Aunque Europa acaparó el 75% de la potencia instalada en 2009, la producción se concentra cada vez más en Asia, que pasó del 68% en 2008 al 76% en 2009. China y Taiwán produjeron el 49% del total y exportaron el 90%. China refuerza rápidamente su posición debido a unos costes de producción un 30% menor que los europeos, un acceso fácil al crédito y un fuerte apoyo estatal. Por lo que la cuota de mercado europea se redujo del 25,5% en 2008 al 19,4% en 2009. Así que Europa concentra la mayor parte de la instalación, pero pierde cuota de mercado, por lo que la UE deberá cambiar su política (Eurobserv-er, 2010; EPIA, 2010*a*).

La patronal europea del sector (EPIA, 2010*a*) prevé que en el futuro Europa seguirá teniendo un liderazgo destacado en instalación (aunque irá perdiendo peso relativo hasta el 50% en 2014), seguida de EE UU, Japón (tiene el objetivo de alcanzar 28 Gw en 2020), China, la India (ambos decidieron en 2009 el objetivo de instalar 20 Gw cada uno para 2020) y del resto del mundo. EPIA prevé una instalación mundial de unos 15,5 Gw en 2010 (en Europa debido sobre todo al impulso de Alemania e Italia y la República Checa), en 2011 se produciría una

reducción (6-15 Gw) por las reducciones de prima anunciadas en Alemania y la República Checa. Después se prevé una progresión hasta 2014, impulsada por Japón, China, Corea, Italia, Alemania, Francia, Gran Bretaña y, en menor medida, por España, llegando hasta 11,5-30,0 Gw en 2014. Así que se produciría, a semejanza de lo ocurrido con la eólica, un despliegue de la energía fotovoltaica desde Europa, que primero se centraría en unas pocas potencias, para extenderse después al resto del mundo (EPIA, 2010*a*; Appleyard, 2010; Chew, 2010).

El silicio cristalino es la tecnología dominante. Su cuota de mercado era de un 95% en 2005. El resto lo tenían las placas de lámina fina, de las que hay varios tipos que se diferencian por el material utilizado: silicio amorfo (Si-TF), teluro de cadmio (TCd), selenuro de indio, cobre y galio (CIGS), sulfuro de indio y cobre (CIS), etc. Estas placas fueron perdiendo cuota de mercado a lo largo de la mayor parte de la década pasada, debido a que sus costes de producción más bajos no compensaban unos rendimientos muy inferiores. Pero el encarecimiento del silicio cristalino en 2007 y 2008, debido a una escasez coyuntural, alentó la inversión en esas placas y provocó su renacimiento. Los resultados son: una rápida elevación del rendimiento que, unida a nuevas técnicas productivas y a la producción en masa, provocan una fuerte reducción de costes. El rendimiento ha alcanzado el 13% y se prevé llegar pronto al 15%. Y, aunque las placas cristalinas también sufren una rápida evolución y algunas empresas anuncian rendimientos superiores al 20%, las placas de lámina fina alcanzaron en 2009 el 18% de cuota de mercado. La previsión es que tal escalada continúe, pero no hay consenso sobre su progresión. En EE UU se prevé que en 2013 alcancen el 30% del mercado mundial y que sigan elevando su cuota. La industria japonesa prevé que para 2012 alcancen el 50% del mercado y en 2015, dos tercios. EPIA ha pasado de una previsión de cuota para 2020 del 30% en 2009 al 40% en 2010. En 2010 estimó que en 2020 las placas cristalinas tendrán unos precios de 0,60-0,80$/w y las de lámina fina de 0,30-0,70$/w. Europa produce el 31% de las segundas (Eurobserv-er, 2010: 153-158; EPIA, 2010*d*).

A pesar de la hegemonía actual de las placas de TCd, se considera que las placas CIGS y CIS tienen el mayor potencial de aumento de rendimiento y de reducción de costes, aunque en 2009 solo se vendieron 43 Mw de placas CIGS. Pero en 2010 numerosas empresas (Solar Frontier, Miasole, Stion, Solindra, etc.) aumentaron mucho su capacidad de producción, porque consideran que tienen un producto competitivo. Solar Frontier anuncia un rendimiento del 11,5% y Miasole, del 13% (LBST *et al.*, 2010*a*).

Se está agudizando la competencia por la sobrecapacidad existente, que no deja de crecer, por lo que los precios seguirán cayendo mucho (aunque menos que

en 2009 y 2010). En 2009 y en 2010 bajaron más de un 40%. El precio medio bajó de 2$/w en 2009 a 1,3$/w en 2010 y EPIA prevé que para 2020 hayan bajado un 60%, logrando así los precios por watio indicados. Algunas compañías venden a precios muy inferiores a los medios y siguen bajándolos rápidamente. El éxito de First Solar en 2009 (que alcanzó el liderazgo con su placa de TCd) se debió a que vendía a 1$/w. En 2010 ya lo hacía a 0,75$/w. Pero Oerlikon lo hacía a 0,70$/w. Por ello EPIA afirma que la fotovoltaica es ya competitiva en muchas regiones del mundo en los picos de consumo y que para 2020 puede alcanzar la paridad de costes en el 76% de la UE si hay más apoyo público. Se está convirtiendo en la energía más barata en países de electricidad relativamente cara y con alta insolación y el desplome de precios irá ampliando rápidamente estas zonas. La AEF (la patronal española del sector) prevé la paridad de costes en España en 2012. La industria alemana afirma que, si sigue el desplome de costes, logrará la paridad en 2013 (Gay, 2010; www.aefotovoltaica.com; EPIA, 2010*b*, 2010*c*, 2010*d*; Wang, 2010).

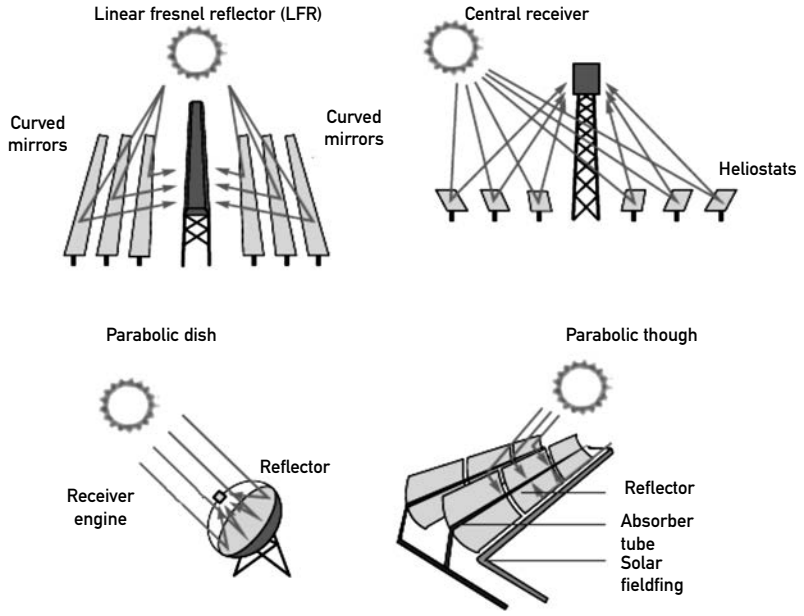
Por último, se considera que los sistemas fotovoltaicos de concentración (SFC) (formados por células de alto rendimiento sobre las que se concentra la luz solar mediante espejos) tengan avances decisivos en su comercialización: proliferan los avances tecnológicos y los rendimientos se elevan, por lo que se reducen mucho los costes; usan mucho menos espacio por unidad de potencia que las placas fotovoltaicas sin sistemas de concentración; etc. Existen sistemas de baja concentración y de alta (formados por células cristalinas de unión múltiple). Parece que esta tecnología es la que se está imponiendo. En 2010 el rendimiento de las células alcanzó el 42%, pero el rendimiento del sistema se situó en el 27% y se espera que se eleve al 30% en 2012. Se considera que 2010 fue el año de su despegue con 20 Mw instalados, que en 2011 se alcancen 150 Mw y que en 2015 sean 1.800 Mw. Este subsector espera que se instalen solo en EE UU más de 6.000 Mw para 2020 y que estos sistemas alcancen la paridad de costes antes de 2015 en zonas de alta insolación y áridas (EPIA, 2010*e*; http://es.cpvtoday.com).

4.3. SOLAR-TERMAL

Las centrales eléctricas termo-solares [también denominadas *Concentrated Solar Power* (CSP)] cuentan con una dilatada historia de I+D y de comercialización, aunque ésta haya sido intermitente. Pueden producir electricidad en plantas desde 15 Kw hasta de cientos de megavatios. Para ser rentables, estas plantas exigen una alta radiación, que se encuentra en el llamado cinturón solar, cuya anchura va desde el sur de Europa hasta Sudáfrica, que tiene radiaciones en la banda de 2000-2800 kwh/m^2. También demandan mucha superficie. Se necesita un kilómetro cuadrado

GRÁFICO 8

EL FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE LAS CUATRO TECNOLOGÍAS



FUENTE: ESTIA *ET AL.* (2005).

para plantas cilindro-parabólicas de 50 Mw, aunque necesitan menos superficie por unidad de energía producida que los pantanos (zona inundada) y las centrales de carbón (teniendo en cuenta la superficie minera necesaria). Solo se necesita el 0,04% de la superficie del Sáhara para satisfacer la demanda eléctrica de la UE-25 y un 2% para la mundial (IEA SolarPACES *et al.*, 2009: 14, 69).

El gráfico 8 muestra las tecnologías básicas existentes, entre las que destacan dos: la cilindro-parabólica (CP) y la de torre o de receptor central. Además están las de espejos Fresnel (curvados) y las de disco parabólico. Las plantas CP están formadas por espejos de la forma indicada que concentran la radiación en tubos, en los que se calientan normalmente aceites sintéticos (350-550 ºC) que convierten el agua en vapor en un intercambiador, el cual mueve un turbogenerador. Constituye la tecnología más madura y tiene un rendimiento del 15%. Llevan incorporado un sistema de acumulación de calor (menos las de disco parabólico) cuya capacidad aumenta con el proceso de maduración tecnológica y ya son capaces de funcionar hasta 12,5 horas con el calor almacenado. La tecnología Fresnel utiliza espejos curvados y la tubería receptora no está conectada al sistema de espejos, evitando los problemas del giro de

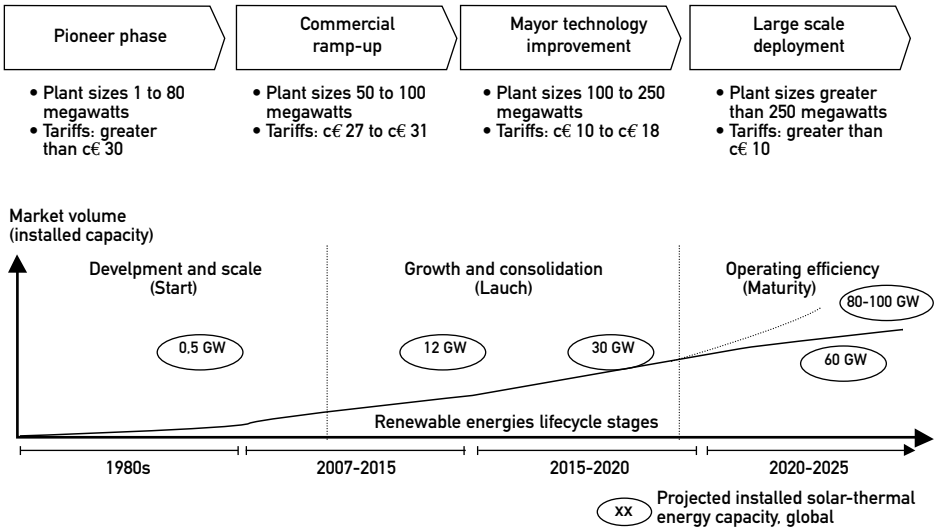
las CP, pero su rendimiento es solo del 8-10%. Su grado de madurez es bajo. Las centrales de torre están formadas por grandes espejos (helióstatos) que giran con el sol y proyectan sus rayos en una torre central, donde un fluido que se calienta hasta 800 ºC. Su rendimiento es del 20-35%, según diseños. Al igual que las CP, almacenan calor y los modelos nuevos lo hacen para 15 horas de funcionamiento. Se considera que las plantas de torre serán hegemónicas en el futuro porque obtienen rendimientos mayores, debido a que alcanzan temperaturas más altas y a que tienen bajas pérdidas de transmisión en relación con las CP. Pero su tecnología es más inmadura. Los discos parabólicos (DP) concentran el calor en el foco, en el que hay un motor que lo convierte en electricidad. Su rendimiento es del orden del 25-30%, pero es la tecnología menos madura (Kearney y ESTELA, 2010: 2).

Después de que se instalaran 256 Mw (CP, de torre, cilindro-parabólicos y disco parabólico) en California en la época alrededor de 1990, solo a partir de 2007 se empezó a acumular nueva capacidad, con una planta de torre de 10 Mw en España y otra CP de 60 Mw en el estado de Nevada. En 2008 se instaló una planta CP de 50 Mw en España y la primera planta Fresnel de 15 Mw. En 2009 se construyeron en España una central de torre (20 Mw), tres CP de 50 Mw cada una y una Fresnel (1,4 Mw). En EE UU se construyó una de torre (5 Mw). En total se instaló una potencia de 176,4 Mw y la potencia acumulada superó los 600 Mw. En 2010 estaban en construcción más de 2.000 Mw, de los que la mitad fueron instalados. 1.667 Mw están en España (que tiene el 78% de los proyectos en construcción), seguido de EE UU (13% de los proyectos, pero son de mayor potencia por planta que en España). Las CP acumulan el 98% de la potencia de las plantas en construcción (Kearney y ESTELA, 2010).

Se prevé que las CP sigan dominando durante esta década, pero la tecnología de torre tendrá un crecimiento más rápido que la anterior. El gobierno español autorizó a principios de 2010 la instalación de 500 Mw anuales hasta 2012 y 540 Mw en 2013. En EE UU la dinámica es muy intermitente. Está prevista una central DP (5 Mw), pero en 2010 se anunció la construcción de la mayor planta del mundo (4 centrales CP de 250 Mw) para 2013. Ambos países seguirán liderando el desarrollo de las CSP, al menos a largo de esta década. Pero estos se van extendiendo por el cinturón solar. Túnez prevé instalar 40 centrales en el periodo 2010-2016 y Marruecos, cinco plantas con un total de 2.000 Mw para 2020. Arabia Saudí aspira a ser un centro exportador a partir de electricidad de las CSP. Abu Dabi terminará en 2011 una planta de 100 Mw y quiere alcanzar 1.500 Mw en 2020. Jordania está construyen una planta CP de 100 Mw. También Egipto y Argelia están instalando plantas CP para suministrar vapor a las de gas. Israel, Sudáfrica, Australia, etc., también promocionan plantas eléctricas CP (http://social.csptoday.com; A. T. Kearney y ESTELA, 2010: 7).

GRÁFICO 9

EL FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE LAS CUATRO TECNOLOGÍAS



FUENTE: KEARNEY Y ESTELA (2010: 10).

ESTELA ha promocionado dos estudios sobre el futuro de las CSP, uno con SolarPACES y Greenpeace de 2009, con un horizonte temporal de 2050, y otro de 2010, encargado a la consultora A. T. Kearney, y con una perspectiva mundial que alcanza 2025. El primero prevé alcanzar en 2050 más de 120 Gw en Europa, de los que unos 80 Gw corresponden a España y el resto a Portugal y Grecia. A escala mundial y en un escenario moderado puede haber una potencia mundial acumulada de más de 68 Gw en 2020 y 830 Gw en 2050. Prevé que las CSP en 5-10 años pueden alcanzar la paridad de costes y que el rendimiento (que estima en un 30% para 2010) alcance las metas siguientes: 35% (en 2015), 45% (2020) y 54% (2030). El otro estudio analiza con detalle las diferentes fases del despliegue del sistema tecnológico solar-termal. Tal y como se muestra en el gráfico 9, establece cuatro fases de desarrollo del sistema: la pionera (década de 1980), la del inicio comercial (2007-2015), la de mejora tecnológica (2015-2020), ambas etapas son definidas como de crecimiento y consolidación. Y la última etapa es la de desarrollo a gran escala (2020-2025). Si en la fase 2015-2020 se instalan plantas de 100-250 Mw, en la última son de 250-350 Mw. Sin embargo, otros estudios estiman que la potencia óptima es de 100-200 Mw. Incluso hay empresas que están desarrollando sistemas cilindro-parabólicos tan pequeños que pueden instalarse en tejados industriales. Siguiendo con el

estudio, para 2015 se habrán instalado 12 Gw, 30 Gw para 2020 y entre 60 y 100 Gw (según escenarios) para 2025. Prevé que la paridad de costes se alcanzará en 2020, aunque en las zonas más privilegiadas (como Chile) se alcanza ya (IEA SolarPACES *et al.*, 2009: 46-54; Kearney y ESTELA, 2010: 7-33).

5. REDES Y ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

Históricamente ha dominado la visión de que un sistema eléctrico eficiente debía basarse en grandes plantas de generación y largas líneas de transporte. Pero el extraordinario desarrollo de las energías renovables y su carácter distribuido exigen a un modelo eléctrico descentralizado, de generación distribuida (GD). La GD supone un conjunto de pequeños productores (normalmente de electricidad renovable) y usuarios conectados a una red local, la cual está a su vez conectada con la red general. La dinámica actual de GD tiende a diluir los límites entre generadores y consumidores y entre sectores. Los edificios pueden generar su propia electricidad y verter a la red los excedentes. Al utilizar vehículos eléctricos (batería y células de hidrógeno), el sector del transporte adquiere capacidad para almacenar y generar electricidad. Estas redes no solo gestionan la oferta, sino también la demanda. Todo ello produce un nivel de complejidad de gestión desconocido en el pasado. Pero estos sistemas complejos pueden ser gestionados de forma eficiente mediante el uso de tecnologías informáticas y de telecomunicaciones (TIC), dando lugar a la creación de redes inteligentes. Un estudio del Parlamento Europeo define la GD como aquella "que está formada *por sistemas de generación de relativamente escala pequeña* (medio y bajo voltaje: 110 kv y menos). *La energía primaria es a menudo renovable* [...] *y frecuentemente disponible localmente*" (el énfasis es original). Sin embargo, "a pesar del movimiento hacia un sistema energético más sostenible, la estructura legislativa europea actual tiende a promover las energías renovables a gran escala y frecuentemente falta el apoyo al desarrollo e integración de la generación pequeña y micro" (Parlamento Europeo, 2010: 11, 77).

La UE, las empresas eléctricas y el sector de energía renovable promueven la creación de una red europea, con la intención de extenderla a los países de su entorno. El objetivo es crear un mercado eléctrico liberalizado mediante el aumento de la capacidad del transporte transfronterizo, de forma que se cree una Super-Red que permita el transporte y la distribución de la electricidad generada en zonas de muy alto potencial, como los parques eólicos del mar del Norte y del Báltico y las plantas solares de la zona mediterránea y de Oriente Medio. Esta red sería de muy alta tensión y de corriente continua, para reducir las pérdidas del

transporte. Esto es lo que propone la Comisión, que define como *smart grid*, en contra del uso generalizado del término para definir redes descentralizadas e inteligentes. Además, afirma que "las nuevas interconexiones con nuestros vecinos deberán tener la misma prioridad que las intra-UE proyectos. Tales enlaces son esenciales no solo para nuestros vecinos sino también para asegurar la estabilidad y seguridad de suministro de la UE" (COM(2010)639 final: 10). Antes de analizar esta posición, explicaremos las iniciativas principales.

Paralelamente al despliegue de parques eólicos en los mares del norte (se estima que se instalarán 140 Gw), se multiplican los estudios y propuestas de redes de evacuación de la electricidad generada. En 2010 todos los países costeros de los mares del norte llegaron a un acuerdo de creación de líneas de evacuación y la Comisión Europea impulsa este proyecto con 500 M€. En una cumbre de Estados mediterráneos celebrada en 2008 fue lanzado el *Mediterranean Solar Plan* (MSP). Su objetivo es instalar en la región 20 Gw para 2020, desglosados en 3-4 Gw fotovoltaicos, 5-6 Gw eólicos y 10-12 Gw de CSP. Un prerrequisito para la aplicación del Plan es la construcción de dos líneas, una entre Turquía y Grecia y otra entre Túnez e Italia, porque se trata de que buena parte de la energía generada sea exportada a Europa. El MSP cuenta con el respaldo de los sectores renovables, quienes se apresuran a afirmar que el objetivo puede ser fácilmente superado por cada una de ellas. Amparándose en el MSP, dos consorcios (formados por grandes empresas energéticas y bancos europeos) impulsan los proyectos Medring y Desertec, con el apoyo de la UE. El Medring pretende crear una red eléctrica que abarque a todos los países mediterráneos y que cuente, además, con unas conexiones más numerosas y potentes que las existentes en la actualidad entre el sur y el norte del Mediterráneo. El proyecto Desertec pretende ampliar la red anterior al golfo Pérsico. Se ha acordado realizar estudios para evaluar la rentabilidad de los proyectos (IEA SolarPACES *et al.*, 2009: 69 y ss.; Blau, 2010).

Antes de examinar los proyectos, analizaremos los argumentos que se esgrimen a favor de los mismos: el mercado libre eléctrico incentiva la competencia, la cual produce eficiencia y precios bajos; seguridad de suministro; necesidad de aumentar la capacidad de transmisión transfronteriza para hacer frente a la intermitencia de las renovables; necesidad de importar electricidad renovable para garantizar el abastecimiento europeo.

La defensa del libre comercio resulta paradójica (aunque previsible), porque la liberalización del sector ha provocado que el sistema eléctrico europeo esté básicamente controlado por tres empresas (tal como reconoce la propia Comisión Europea) y porque, en el caso de que la competencia redujera el precio de la electricidad, dificultaría el aumento de la eficiencia (20%) que propugna

la estrategia energética de la UE en un momento en que no se está consiguiendo. Se exagera el carácter intermitente e impredecible de las renovables y se convierte la situación actual en una característica estructural de la electricidad renovable. Esta situación se caracteriza por un fuerte dominio de la generación eólica terrestre. A pesar de ello, este problema es reducido, porque las empresas eólicas informan al operador de la energía que verterán a la red, con gran precisión, con 24-36 horas de antelación. Esta situación, además, irá mejorando a medida que el *mix* renovable sea más diverso. Los sistemas CSP pueden almacenar energía para producir hasta 15 horas. La biomasa y la geotermia son estables. No se tiene en cuenta que la eólica flotante tiene un potencial mayor que la de cimentación y que se distribuye por el resto de las costas. Por otro lado, se exagera la fiabilidad de las centrales convencionales. En EE UU están paradas un 10,6-12,3% del tiempo y las paradas sin aviso suponen un 2,8-4,2 % del tiempo, según las tecnologías. Además, los países y regiones prefieren desarrollar sus potenciales, por seguridad de abastecimiento y porque les permite crear una industria propia. Por ejemplo, los estados del noroeste de EE UU prefieren desarrollar la eólica marina a importar electricidad eólica de las planicies centrales. Lo mismo ocurre en las comunidades del Cantábrico con las energías marinas. Los desajustes puntuales entre oferta y demanda pueden ser resueltos (sin recurrir al mercado eléctrico) mediante sistemas de almacenamiento y de gestión informatizada de microrredes (Hansen y Lovins, 2010).

A pesar de lo dicho, un sistema 100% renovable y descentralizado necesita una importante capacidad de acumular energía. Existen múltiples formas de hacerlo (baterías Redox, aire comprimido, bombeo hidráulico, hidrógeno, etc.), pero cuando se exige el almacenamiento de grandes cantidades de energía y durante periodos de más de 48 horas, las alternativas se reducen mucho. El bombeo de agua de un pantano a otro superior es el sistema más eficiente (80% de rendimiento) y utilizado, seguido del aire comprimido (70%), siendo bajo el rendimiento del H2 (30-40%). Pero muchos países tienen pocos recursos hidráulicos. La capacidad de almacenar energía del aire comprimido es 60 veces menor por unidad de volumen que la del hidrógeno, por lo que éste supone la mejor opción, acumulándolo en cavernas (Wurster *et al.*, 2009: 21; LBST, 2010: 11).

El argumento de la seguridad de suministro no tiene base. Hay dos tipos de seguridad: la de hacer frente a los picos de demanda y el riesgo de corte en el suministro. El sistema anterior es insuperable en ambos casos. En el primer caso la GD puede aumentar la capacidad en poco tiempo y adaptarse a las necesidades, porque utiliza tecnologías de pequeña escala y modulares, aparte de que las redes inteligentes pueden gestionar también la demanda. Pero la gran mayoría de los

cortes de suministro (y son frecuentes) se deben a daños en la red provocados por problemas climáticos (viento, nevadas, sequías, etc.). Por ello, cuanto más se reduzca el transporte, mayor será la seguridad. Así que la GD es el sistema más seguro, flexible y eficiente. La fiabilidad del sistema actual es más de mil veces menor que la de la GD y permite ahorrar la energía perdida en las grandes líneas de transporte (un 5-8%) (Makower y Pernick, 2002; Swisher, 2002*a*: 13 y ss.).

El proyecto Desertec es una prolongación del Medring, por lo que analizaremos éste en primer lugar. Además, cuenta ya con un voluminoso estudio, cofinanciado por la UE, y sus conclusiones son demoledoras: La UE "está bien provista de radiación solar intensa así como excelentes condiciones de viento en algunos países. Los países miembros son capaces de ofrecer electricidad renovable a precios competitivos en los mercados de Europa hoy, mañana y siempre, incluso teniendo en cuenta los altos costes de la provisión de electricidad en corriente continua y las pérdidas de transmisión en 1.000-2.000 kilómetros". Así que, "cualquier decisión de largo alcance para establecer corredores de transporte para exportar electricidad solar y eólica deberá basarse en consideraciones comerciales. La seguridad de suministro o el deseo de diversificación de los suministros no debe ser el impulso primario de tal decisión". Estas conclusiones se ven reforzadas por la situación de los países del norte de África. La mayoría de ellos utilizan poco o nada de energía renovable. Producen la mayor parte de su electricidad de combustibles fósiles (sobre todo gas, pero también carbón) y la mayor parte de ellos tienen planes para ampliar mucho su uso en un intento de satisfacer una demanda que crece un 4-7% al año. Los precios eléctricos son tan bajos en algunos países que "disuaden el establecimiento de una industria eléctrica solar". Además, la estructura de la red de la región provoca que sea muy inestable. Solo están a favor de la iniciativa los países que carecen de combustibles fósiles: Israel, Líbano y Túnez. Por último, el informe se posiciona en contra de subvencionar las iniciativas privadas, porque "sus costes de generación no pueden competir con los costes de generación de las empresas públicas" (MED-EMIP, 2010). A lo que habría que añadir la extrema vulnerabilidad de las líneas de transporte ante posibles ataques terroristas y los elevados costes de construcción de las líneas de transporte (algunos analistas evalúan que puede alcanzar el 25% del proyecto Desertec); se estima que aunque se utilice corriente directa a muy alto voltaje, la pérdida de energía será del 10% (IEA SolarPACES *et al.*, 2009: 69 y ss.; Lenoir, 2010).

A pesar de ello hay importantes puntos de divergencia en cuanto al nuevo sistema eléctrico en la UE entre las organizaciones productoras de energía renovable y las grandes compañías eléctricas tradicionales y los entes gestores de las redes nacionales. Los dos últimos grupos pretenden mantener básicamente el modelo

de red convencional, aunque el aumento de complejidad de la gestión eléctrica les lleva a la utilización de las TIC. Así que el modelo centralizado se mantendría básicamente. Ésta es la posición que defiende el European Regulators Group for Electricity & Gas (ERGEG) (un organismo consultor de la UE que aglutina a los reguladores de las redes eléctricas y de gas): "La diferencia entre las redes actuales y una red inteligente del futuro es principalmente la capacidad de la red para manejar más complejidad que la actual de un modo eficiente y efectivo" (ERGEG, 2010: 11). Por el contrario, las asociaciones profesionales (EWEA, EPIA y ESTELA) y los consejos de los sectores de renovables afirman que en el futuro "la generación centralizada en base a centrales nucleares y de combustibles fósiles será progresivamente reemplazada por una combinación de renovables a gran escala y una creciente cantidad de generación local y distribuida", sustituyendo a la generación nuclear y fósil en la función tradicional de dar la electricidad de base. Por otro lado, las tecnologías inteligentes (sensores, contadores inteligentes, sistemas programables de uso energético y redes de telecomunicación) estarán al servicio de "una red transeuropea" que conecte *smart grids*, las cuales lograrán una producción y un consumo flexible. En este sistema el almacenamiento desempeñará un papel importante. Por otro lado, los reguladores deberán perder el actual carácter de defensores de los intereses de las grandes compañías eléctricas tradicionales y convertirse en algo semejante a los "controladores aéreos" (CAN Europe *et al.*, 2010). EREC profundiza en el diseño de la nueva red defendiendo un sistema que integre las *smart grids* y la *super grids*: "Primero la idea de Superred supone conectar parques eólicos marinos del Reino Unido con, por ejemplo, parques fotovoltaicos de Alemania y plantas de CSP de España e instalaciones hidroeléctricas en Escandinavia". Por otro lado, las *smart grids* lograrían "modernizando las redes para lograr que la generación eléctrica se adapte a la demanda y para mejorar la participación de los usuarios y una respuesta masiva del lado de la demanda". Prevé que el 60-70% de la electricidad sea distribuida y que cada sistema tenga su medio de almacenamiento (EREC, 2010: 49 y ss.).

CAPÍTULO 14

ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO RENOVABLE

Este capítulo debería haber seguido al 12, al del transporte, en pura lógica. Pero, teniendo en cuenta que cualquier tecnología de tracción debe tener una fuente energética y que lo que se busca aquí es que las fuentes sean renovables y sostenibles, era necesario tratar antes el tema de las fuentes renovables y las implicaciones de un sistema energético básicamente eléctrico. Y ello es así porque las alternativas al petróleo en el transporte son de tipo eléctrico, a pesar de que en un primer momento se nos presentaron los llamados biocombustibles (preferimos denominarlos agrocombustibles porque la raíz "bío" tiene connotaciones positivas que no se justifican en este caso). Pero los que últimamente monopolizan la atención política y de los medios de comunicación son los vehículos ligeros de carretera impulsados por la electricidad de baterías, por lo que en el mejor de los casos sería una alternativa muy limitada. Así que, descartados los agrocombustibles y la batería, solo queda el hidrógeno asociado a la célula de combustible como única alternativa general.

1. AGROCOMBUSTIBLES

Con el encarecimiento del petróleo asistimos a la proliferación de políticas estatales de fuerte apoyo a la sustitución de las gasolinas fósiles por agrocombustibles (AC), aunque con el tiempo se haya rebajado. La directiva energética comentada en el capítulo 13 modifica el objetivo anterior (de que alcancen el 10% en 2020 del total energético del transporte) por otro en el que este objetivo se

alcanzará por la electricidad, el hidrógeno y los AC. Los gobiernos se basan en las siguientes premisas para justificar sus políticas: existencia de potencial de biomasa que puede utilizarse sin perjudicar la producción de alimentos; existencia de tecnologías adecuadas, que serán mejoradas mediante una fuerte inversión en I+D; un balance energético muy positivo y, por tanto, reducción de GEI; efectos ambientales positivos y efectos económicos beneficiosos (aumento del PIB y del empleo) (Bringuezu, *et al.*, 2007). Sin embargo, numerosos informes universitarios, de los Joint Research Centers (JRC) de la UE e informes oficiales coinciden en su rechazo.

Antes de evaluar tales premisas, conviene precisar los tipos de AC, sus usos y lo que suponen en la actualidad. Pero la dimensión de este trabajo obliga a ser selectivo, por lo que nos centraremos en los combustibles de primera generación y, entre los muchos que se anuncian de segunda generación, seleccionaremos los celulósicos por ser los más promocionados, aunque solo son comerciales los de la primera generación: etanol (sustituto de la gasolina) y agro-diesel (alternativa al diesel). El etanol se obtiene por fermentación de plantas ricas en almidón o azúcar (cereales, caña de azúcar, remolacha azucarera, patata, etc.). Los vehículos normales solo admiten mezclas de gasolina y bioetanol que no suelen pasar de la proporción 80/20. El agro-diesel se obtiene de la soja, colza, girasol, aceite de palma, etc. Puede aportar el 5% a la mezcla en vehículos convencionales, pero en vehículos de recorrido fijo, como los autobuses, el porcentaje puede llegar hasta el 30%. La UE y EE UU subvencionan fuertemente los AC y establecen cuotas obligatorias a alcanzar en 2020. Pero no hay acuerdo sobre la diferencia de potencial. Se suele aceptar un 15% menor, pero Patzek *et al.* (2004) afirman que el ratio es un 33%.

La producción de AC ha crecido de poco más de 0,5 Mbep en 2006 a casi 2 Mbep en 2010. Teniendo en cuenta que el consumo mundial de petróleo es de unos 85 Mb/d y que el 70% se utiliza en transporte, resulta que los AC suponen alrededor de un 3% de todos los líquidos del transporte. Se está creando un importante mercado internacional, con Brasil, Indonesia y Malasia como principales exportadores, aunque muchos países están siguiendo esta política. EE UU y Brasil concentran el 90% de la producción de etanol (Brown, 2010).

Aunque calcular el balance energético resulta complejo (porque en él intervienen muchos factores difíciles de evaluar) no es necesario llegar a análisis muy precisos para tener una idea aproximada del mismo. Existe un consenso en que el balance energético de la caña de azúcar (para producir etanol) es el mejor (se suele admitir que se obtienen alrededor de 8 unidades por una invertida), seguido del aceite de palma (más de 3 unidades obtenidas por una unidad

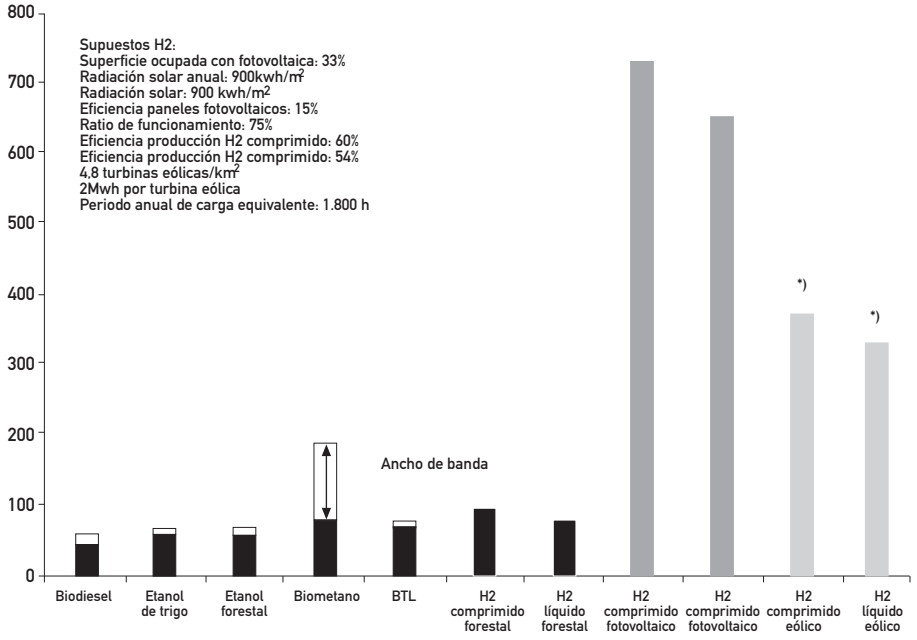
invertida). Así que el uso de estos cultivos tropicales estaría justificado desde el punto de vista energético y permitirían obtener etanol y agro-diesel. Se admite que los cereales son los de menor balance energético, pero mientras que los gobiernos citan balances del orden de 1/1,5, muchos analistas (entre los que se encuentran algunos con amplia experiencia investigadora) como Pimentel y Patzek (2005) y Hartmut Michel, premio Nobel de Química, afirman que el balance es negativo (se invierte más energía que la que se obtiene) o ligeramente positivo. Admitiendo que los balances fueran moderadamente positivos, sería mucho más eficiente subvencionar el ahorro de energía. Además, es la tecnología menos eficiente de aprovechamiento energético de la biomasa. Lo afirman la Estrategia de Biomasa del Reino Unido, Weindorf y Altmann mostrando la energía producida por unidad de superficie de diferentes usos de biomasa y, además, la comparan con la producción fotovoltaica y eólica (gráfico 1).

En un intento de reforzar la política adoptada, los gobiernos vienen afirmando que el balance energético de los agrocombustibles se verá fuertemente aumentado cuando sea comercial la utilización de la celulosa como materia prima. Entonces se podrá utilizar toda la planta y no solamente los frutos como ahora. Además, se obtendrán de los residuos de la madera. Por ello destinan grandes fondos a I+D. Se supone que la celulosa se puede separar fácilmente de la lignina y ser descompuesta para facilitar la fermentación, logrando así la producción de gran cantidad de energía. Sin embargo, la celulosa es el principal componente de las paredes de las células de las plantas altas y las protegen de los elementos, de los animales y de los ataques químicos de hongos y bacterias, dotándolas de una estructura muy resistente. Lo cual supone que es necesario invertir mucha energía para obtenerla: desmenuzar la planta y después someterla a la acción del vapor de agua; atacarla con ácidos muy calientes y altamente concentrados; y más difícilmente, por la acción de enzimas, por necesitar mucho tiempo y obtener un rendimiento bajo (Patzek, 2006: 39-40). La estrategia del DoE *Feedstock Roadmap* identifica más de sesenta obstáculos en el desarrollo del etanol celulósico. Un informe del Departamento de Agricultura (USDA, por sus siglas en inglés) afirma que una agro-refinería de segunda generación cuesta 3-4 veces más que las de primera generación. Y la realidad lo demuestra: la EPA (Agencia de Protección Ambiental de EE UU, por sus siglas en inglés) rebajó a principios de 2010 el objetivo de producir 10 millones de galones de etanol celulósico para ese año a 4 millones y el producto es metanol (Rapier, 2010).

La superficie de tierra agrícola necesaria para conseguir la producción de AC depende del balance energético. Pero, antes de cuantificar la tierra necesaria

GRÁFICO 1

PRODUCCIÓN DE AGROCOMBUSTIBLES POR HECTÁREA COMPARADA CON LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO GENERADO A PARTIR DE ELECTRICIDAD FOTOVOLTAICA Y EÓLICA
RENDIMIENTO (GJ/HECTÁREA Y AÑO)



FUENTE: WEINDORF Y ALTMANN (2007).

para AC, conviene constatar que la tierra se demanda para múltiples usos, además de producir alimentos. La necesitamos para producir materias primas para la industria química, farmacéutica, para otros usos energéticos, para producir materiales (agro-plásticos, fibras textiles, papel, etc.). Kavalov (2004) estima que la UE-15 necesitará un 16-19% del total de la tierra para alcanzar la cuota de mercado del 5,75%, en el supuesto de que se produjera etanol y agro-diesel al 50%. Pero hay que tener en cuenta que la UE pierde al año el 0,7% de tierra agrícola y que la superficie de tierra dedicada a exportación es alrededor de un 20% inferior a la utilizada para importación. Se considera que para sustituir todo el petróleo utilizado en el transporte se necesita dedicar a los AC más del 90% de la tierra cultivable del mundo. Y este panorama se agrava mucho con el fenómeno del rápido crecimiento de compra o alquiler de tierras para diversos usos agrícolas (alimentación, AC, etc.) por parte de empresas transnacionales y de gobiernos en países No-OCDE, que supone ya 15-20 millones de hectáreas, que se produce

en un contexto de claro déficit de tierra disponible. Esta situación ha sido denunciada por el International Food Policy Research Institute (IFPRI), que está financiado por 60 países (Phillips, 2009).

Los impactos ambientales provocados por la cadena de producto de los AC son muy importantes. En primer lugar, la obtención de tierra para los cultivos energéticos puede ser un fenómeno muy impactante. Es evidente que en muchos países tropicales se destruyen bosques y otros ecosistemas para obtener tierra. En Indonesia se estima que ya han causado la deforestación de 6 millones de hectáreas. Están ampliamente documentados los casos de Indonesia, Malasia, Argentina, Uruguay, Paraguay, Colombia, etc. En Brasil mucha de la tierra que se está utilizando proviene de la destrucción del bosque tropical, aunque últimamente de forma indirecta, porque utilizan las tierras de los ganaderos y éstos lo compensan cogiendo tierra del bosque. Esos cultivos son aún más insostenibles que los destinados a la alimentación humana. Utilizan semillas transgénicas, pesticidas prohibidos para cultivos humanos, fertilizantes de forma aún más intensiva que en los cultivos para alimentación humana, etc. (Philips, 2009; www.waterfootprint.org). Es muy intensiva la utilización de agua en los cultivos (aunque varía mucho según plantas) y en las agro-refinerías. Lo organización Footprint Network estima que se consumen 1.400-10.000 litros de agua para producir un litro de etanol y 14.000-20.000 litros para producir un litro de agro-diesel. En estos procesos se producen grandes emisiones de NOx (Brown, 2007,12/09). Ante la acumulación de problemas, la UE ha declarado la exigencia de que su producción sea sostenible. Pero su resistencia a asumir el fracaso la lleva a rebajar los requisitos. Por ejemplo, parece que la UE se inclina, en el caso de una plantación de palma africana que haya sustituido un bosque tropical, a considerar que es sostenible si la altura de la plantación alcanza al menos 5 metros.

Además, últimamente han alcanzado gran relevancia los estudios sobre el balance de emisiones de GEI provocados por el cambio de uso de la tierra, que muestran resultados muy negativos. En el caso de cultivos en tierras fruto de la quema de bosques se estima que es necesario que los cultivos estén absorbiendo CO_2 durante 70-300 años para compensar las emisiones anteriores. En el caso de la plantación en Indonesia de palma africana, ésta deberá estar captando CO_2 durante 840 años para compensar las emisiones provocadas por la destrucción del bosque. Ese país quema cada año una superficie de bosque igual a la de Gales y por eso es el tercer país que más CO_2 emite. Un informe del JRC de Ispra (Italia) concluye que "no se puede afirmar que su efecto [sobre el cambio climático] sea positivo". Y concluye que "los costes del uso de biocombustibles superan los beneficios" y, como "la biomasa y el dinero son recursos limitados

en la UE, deberían ser dirigidos a donde produzcan la mayor utilidad" (Edwards *et al.*, 2008). Pero un estudio del Institute for European Environmental Policy (IEEP), basado en otros de la propia Comisión Europea y que ha contado con la colaboración de los JRC, llega a conclusiones demoledoras. Parte de las premisas de que los AC aportarán el 92% del 10% que alcanzarían los combustibles alternativos para 2020 y reclamarán 6,9 MH nuevas (la superficie de Bélgica). Se conseguirán dedicando a los AC la tierra de bosques, de praderas y de cultivos no intensivos a cultivos intensivos, provocando una gran liberación de GEI. La UE prevé que se importen el 50% de etanol y el 41% de agro-diesel en 2020, aunque la tendencia supera esos porcentajes. El resultado es que el cambio indirecto de tierra asociado a los AC (ILUC en inglés) aumentará los GEI del transporte hasta un 6%. Dicho de otra forma, se producirá en 2020 "*entre el 80,5 y el 166,5% más GEI que si se utilizara la misma cantidad de combustibles fósiles* [...] *Ello subraya la necesidad de priorizar la cuestión del ILUC asociado a los biofueles*" (el énfasis es original; IEEP, 2010: 16, 21). Ante este informe, el gobierno británico reclamó a la UE un cambio de política.

2. ELECTRICIDAD RENOVABLE: EL COCHE ELÉCTRICO

La Directiva 2009/28/CE estableció que la electricidad renovable fuera una de las energías que deben contribuir al 10% del total de consumo de combustibles del transporte de carretera en 2020, lo cual plantea el problema de definir el porcentaje medio de electricidad renovable utilizada por cada país en el periodo indicado. En los últimos años numerosos gobiernos han impulsado el desarrollo de vehículos ligeros eléctricos alegando que aportan mejoras en eficiencia, calidad de aire y, no pocas veces, sostenibilidad. Ello ha arrastrado a que la mayoría de las empresas de automoción los fabriquen. Y, aunque los fabricantes saben que el vehículo eléctrico solo puede tener aplicación en el ámbito urbano, los medios de comunicación lo han convertido en una moda.

La gran mayoría de los países OCDE están impulsando el despliegue del coche eléctrico, aportando subvenciones a: I+D, producción, infraestructura de recarga y compra de vehículos. En EE UU los vienen fabricando, sobre todo, Tesla y Fisker, habiendo en 2010 decenas de miles de coches en carretera. Pero su desarrollo en masa se ve limitado por la inmadurez tecnológica, la carencia de infraestructuras, precios elevados, etc.

Históricamente el principal factor limitante ha sido su baja autonomía, debido a que las baterías tienen una capacidad muy limitada de almacenar energía. Ahora sus proponentes esperan un rápido aumento de la misma, unido a una drástica reducción de costes. Sin embargo, no parece que pueda mejorar lo suficiente como para convertirse en una alternativa. El petróleo, el gas y el carbón tienen las siguientes energías por kilogramo, respectivamente: 50, 55 y 20-35 Megajulios (Mj). Este ratio alcanza 0,1 Mj (y puede alcanzar 0,7 Mj) en las baterías ácidas y 0,5 Mj (3,0 Mj en el futuro) en las de litio. Mejora un poco la relación cuando se tiene en cuenta el potencial energético de la gasolina: 34 Mj por litro. Pero el hidrógeno tiene un punto de partida mucho mejor que la batería: 6 Mj por litro (a 70 atmósferas). Ello explica que los fabricantes ofrezcan vehículos eléctricos con recorridos solo entre 100-140 kilómetros como máximo. Pero esta cifra es engañosa, porque si se ponen la calefacción, las luces y el limpiaparabrisas, su alcance se reduce drásticamente. Se intenta paliar este problema mejorando las baterías y estableciendo sistemas de recarga rápida, pero ésta necesita instalaciones costosas. Una carga normal necesita 4-6 horas, pero una carga rápida se puede lograr en 15 minutos, lejos aún de los 3 minutos que dura la del hidrógeno. Este problema y el elevado coste de las baterías podrían impulsar a los constructores a alquilarlas, pero no parece buena idea, porque el cambio de batería tarda alrededor de 10 minutos. Esta opción, además, se enfrentaría con la necesidad de que todos los fabricantes utilizasen baterías estándar, algo poco probable, dadas las variaciones de calidad (Zenz y Johnson, 2009). Además, veremos en el apartado del hidrógeno que el coste de la construcción de redes de estaciones de servicio con recarga empieza a superar al de una red de provisión de hidrógeno a partir de 1-2 millones de vehículos.

En el momento actual de lanzamiento (numerosas empresas lo anuncian para 2011 o 2012) el obstáculo mayor para su despliegue es el coste del producto. En EE UU los fabricantes anuncian precios entre 30.000 y 50.000 dólares y en la UE precios de entre 30.000 y más de 40.000 euros, los cuales son 2 y 3 veces más caros que los mismos tipos de coches con tecnología convencional. Y las fuertes subvenciones que anuncian algunos gobiernos no cambiarán mucho la situación (Woodyard, 2010). Por ello, algunos fabricantes pretenden alquilarlos (a unos 500$/mes). Veremos más adelante que, aunque los precios de los coches de hidrógeno que se anuncian son semejantes a los de los vehículos medios de batería, se prevé que los costes de los primeros bajen más rápido.

La Comisión Europea afirma que "los coches eléctricos puros se muestran más prometedores en el ámbito urbano, dado el limitado alcance que proveen las baterías" (COM(2010)186 final) y cita estudios que prevén unas cuotas de

mercado de 1-2% en 2020 y de 11-30% en 2030. Pero parece poco probable que superen la cuota del 11% en 2030. Así que el coche eléctrico se utilizará solo en desplazamientos cortos, por ello competirá con los medios de transporte colectivos y, si tiene éxito, contribuirá a agravar la congestión urbana. Aunque el aire será más limpio.

3. HIDRÓGENO

El hidrógeno empezó a ser comercializado en la década de 1920 en Europa y EE UU para usos industriales (plásticos, resinas, disolventes, abonos, aceros, etc.). Cada año se producen más de medio billón de metros cúbicos de hidrógeno, lo que supone un potencial energético equivalente a más del 10% del petróleo consumido. Pero ahora sus aplicaciones se están expandiendo en la producción eléctrica asociado a la célula o pila de combustible en una gama amplísima de usos, y especialmente en el transporte. Hay múltiples razones para que se convierta en la alternativa al petróleo: alto potencial energético (un kilo de hidrógeno es equivalente al de 3,5 litros de petróleo); incrementa la seguridad energética, porque se puede obtener de cualquier fuente energética; solventa el problema de la intermitencia de las principales energías renovables, ya que se usa para almacenar su energía; y, asociado a la célula de combustibles, sus usos son altamente eficientes. Por el contrario, el hidrógeno tiene dos limitaciones importantes: es un combustible secundario, por lo que hay que gastar energía para obtenerlo rompiendo la molécula del agua, y es necesario almacenarlo a gran presión (especialmente en los vehículos), porque es el gas más volátil. Además, se suele afirmar que es peligroso, pero más de un siglo de uso industrial se ha saldado con la demostración de su alta seguridad. Además, Ford realizó un estudio en 1997 que demostró que la seguridad del hidrógeno era superior a la de las gasolinas. La única posibilidad de que estalle es cuando se produce su ignición en un recinto estanco. Así que "entre los expertos no hay duda de que ésa [la seguridad] puede ser lograda" (Altmann *et al.*, 2003).

A pesar de su importancia, el apoyo institucional ha sido insuficiente y variable, por lo que a mediados de la década pasada se quebró el optimismo sobre su rápido desarrollo que existía anteriormente. Esta actitud solo se puede entender por una falta de comprensión sobre la escasez del petróleo. Y el retraso acumulado lleva a que muchos consideren que el hidrógeno solo puede ser una alternativa al petróleo en el transporte de carretera a medio-largo plazo y más tarde en otros modos. Pero la nueva escalada del petróleo y el aumento del apoyo de la UE, que de golpe manifiesta que quiere ser el líder mundial, están acelerando su despliegue.

La mayor parte del hidrógeno se produce a partir del gas natural en los procesos industriales. La electrólisis es ya una tecnología comercial de producción industrial de hidrógeno. Y la energía eólica es la mejor preparada entre las renovables para producir grandes cantidades (de hecho, en EE UU se utiliza la energía eólica para producir hidrógeno industrial en el Medio Oeste), aunque el rápido desarrollo de la tecnología fotovoltaica está potenciando su papel en la producción descentraliza. Se espera que en la UE para 2020 todo el H2 del transporte sea renovable (EHA, 2010: 5; E-ZINE, septiembre 2010).

Pero la utilización del hidrógeno a partir de electricidad renovable resulta un proceso muy torpe e ineficiente (electricidad-hidrógeno-electricidad), que solo está justificado en el caso de excedentes de energía. Así que hay que desarrollar tecnologías que permitan la producción directa de hidrógeno a partir de la energía solar. Una de las que se está desarrollando es concentrar la energía solar para producir vapor, el cual pasa por unas toberas que absorben oxígeno, liberando hidrógeno. La UE financia el desarrollo de esta tecnología en la Plataforma Solar de Almería. Después de experimentar con una planta pequeña (Hidrosol I), en 2008 entró en funcionamiento Hidrosol II, que está más avanzada y es mayor, con la que se "pretende dar el salto tecnológico que permita su transferencia al entramado industrial y empresarial" (www.ciemat.es).

4. CÉLULAS DE COMBUSTIBLE

Una célula o pila de combustible es un dispositivo electroquímico que combina hidrógeno y oxígeno para producir electricidad y agua y "representa la tecnología más prometedora de uso del hidrógeno para producir electricidad" (Comisión Europea, 2003). Supone un sistema energético "todo eléctrico". Según un informe del DoE (2004) al Congreso, "la tecnología de células de combustible ofrece oportunidades únicas de sustanciales reducciones en el uso de energía y en emisiones en su aplicación al transporte y a la producción eléctrica". Puede alcanzar una eficiencia de hasta el 90%, recuperando el calor residual. Tiene una alta eficiencia incluso cuando no funciona a plena carga. No contamina, ya que solo emite vapor de agua. Y es una tecnología flexible: le permite adaptarse fácilmente a todos los usos posibles de la electricidad y a los aumentos de demanda por su carácter modular. Se emplean para producir electricidad tanto en aparatos microelectrónicos como para alimentar a las redes eléctricas.

Las células con mayor potencial de desarrollo son las de "membrana de intercambio de protones" (MIP), de "metanol directo" (MD) y de "óxido sólido" (OS).

Las células MD y MIP comparten la misma tecnología básica, pero difieren en el combustible utilizado y, por ello, también en algunas particularidades técnicas. La primera utiliza metanol (es, por tanto, un emisor de CO_2) como combustible y, aunque se puede obtener de la biomasa, en los procesos industriales se obtiene del gas natural. Las MIP tienen rendimientos del 40-60%. Es la tecnología más importante (en 2009 el 96% de las unidades producidas fueron MIP, frente al 4% de las MD, y aunque la cantidad del resto de las células es muy pequeña, no lo es su potencia). Hegemonizan el mercado de la automoción y en gran parte de otras aplicaciones de potencias medias. Las MIP están ausentes del mercado de grandes células estacionarias, debido a que las empresas fabricantes se están centrando en las aplicaciones más prometedoras. Las MD tienen un rendimiento del 40% y se usan en aparatos móviles y nichos de mercado del trasporte (embarcaciones, motocicletas, para producir electricidad auxiliar, etc.). Las de OS tienen un rendimiento superior al 60% y se utilizan sobre todo en pequeños usos industriales (estacionarios y auxiliares). Los problemas principales a resolver para alcanzar una comercialización masiva de las células son: estandarización, coste, durabilidad, fiabilidad e infraestructuras. Son resolubles y algunos de ellos pronto serán superados. El más complicado, porque exige fuertes inversiones, es el de la construcción de infraestructuras, por lo que necesita una fuerte intervención pública (Callaghan *et al.*, 2010).

4.1. ESTRATEGIAS DE DESARROLLO DE LAS CÉLULAS DE HIDRÓGENO

Se considera que Japón es el país con el programa más temprano y coherente de promoción del hidrógeno. Fue aprobado en 1993. Según su "Mapa de Ruta de las Tecnologías de Células de Combustibles de Electrolito de Polímeros", pretende fabricar 50.000 vehículos, alcanzar 2.100 Mw de potencia en instalaciones fijas en el periodo 2005-2010, 5 millones de vehículos (con 4.000 estaciones de servicio) y 10.000 Mw entre 2010 y 2020. Pero, dado el panorama actual del sector, los objetivos más tempranos no se alcanzarán, a pesar de que ha venido invirtiendo más que ninguna otra potencia. En 2009 las empresas principales llegaron al acuerdo de iniciar la venta de coches de hidrógeno y tener sesenta puntos de servicio para 2015 (Smith, 2010).

EE UU definió en 2002 dos documentos que constituyeron su estrategia inicial: la "Visión del Hidrógeno" y el "Mapa de Ruta Nacional de la Energía del Hidrógeno". En 2004 aprobó el *Hydrogen Posture Plan*, que fue actualizado en 2006. Se establecen cuatro fases, que se solapan, a desarrollar hasta después de 2040. La primera es muy larga, ya que se extiende de 2000 a 2030, y está dedicada al desarrollo de la I+D. Sin embargo, plantea dos tramos: uno hasta 2015, que es el que acapara la mayor parte del

esfuerzo inversor; en el segundo el esfuerzo va decayendo. Se supone que entre 2010 y 2025 se producirá la maduración de las tecnologías. La segunda fase ("Penetración inicial en los mercados" y que se extiende desde 2010 hasta 2025) prevé el inicio de la comercialización de pilas para usos portátiles y estacionarios y el inicio de la inversión en infraestructuras. La tercera fase ("Expansión de los mercados y de las infraestructuras") se desarrolla entre 2015 y 2035. En ella se pondrán a punto las tecnologías de transporte y las infraestructuras necesarias. La última etapa ("Desarrollo total de las infraestructuras y de los mercados") empieza en 2025 y se extiende más allá de 2040. El Plan se centra en el transporte por carretera y establece objetivos precisos en las dos primeras etapas (DoE, 2004, 2006).

En 2003 el Hydrogen and Fuel Cell High Level Group de la UE presentó el informe "La Energía del Hidrógeno y las Celulas de Combustible. Una visión de Futuro". Posteriormente la Comisión creó la Fuel Cell Technology Platform (HFP), que aglutinó a los agentes principales, la cual presentó en octubre de 2005 una Estrategia de Despliegue (*Deployment Strategy*) que alcanza hasta 2020. Establece cuatro áreas de actuación: transporte y estructura de recarga; producción y distribución de hidrógeno; generación eléctrica estacionaria; y mercados tempranos. Para esta fecha prevé que habrá 1-5 millones de automóviles y unas ventas anuales de 0,4-1,8 millones de vehículos; potencia eléctrica instalada de 8.000-16.000 Mw; en el área de "mercados tempranos" (células portátiles, vehículos industriales, unidades auxiliares, etc.) contempla una comercialización masiva en 2009-2012. Estos objetivos se consideran "ambiciosos" (HFP, 2005). En 2007 se diseñó el *Implementation Plan*, que desarrolla de forma pormenorizada la Estrategia en función de 10 objetivos a alcanzar en las cuatro áreas indicadas (IP, 2007). Posteriormente se crea la Joint Technology Initiative (JTI), que adopta la figura legal de Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) y es una asociación pública-privada encargada de cumplir los objetivos estratégicos. El FCH JU establece en 2009 un plan con los objetivos a alcanzar para 2015: 500 vehículos ligeros y 500 autobuses; precio del hidrógeno de 5$/kg en las estaciones de servicio; potencia instalada de 1.000 Mw; 14.000 unidades repartidas entre los diferentes mercados tempranos, siendo 12.000-13.000 unidades para aparatos portátiles y micro-pilas. Es evidente que tales objetivos no permiten cumplir los de la Estrategia de Despliegue para 2020. Son aspectos positivos que se propongan un fuerte desarrollo del autobús, la aplicación a la tracción de camiones, metros y tranvías y demostraciones de unidades auxiliares en aviones y barcos (FCH JU, 2009).

Paralelamente, en 2007 se desarrolló el proyecto HyWays, que consta de una estrategia (*Roadmap*) y de un *Action Plan*, que se centra casi exclusivamente

en el desarrollo de vehículos ligeros de carretera (hasta 3,5 toneladas). En cuanto a la penetración de vehículos en el mercado se diseñan tres fases. En la fase I (hasta 2010) se inician los grandes proyectos de demostración. La fase II (2010-2015) es la de comercialización temprana con 10.000 vehículos y con una infraestructura de hidrógeno que una los centros de demostración que se vayan creando. La fase III tiene tres subfases: 500.000 vehículos (2015-2020); 4 millones (2020-2030); 16 millones (2025-2035) (HyWays, 2007*a*; HyWays, 2007*b*). Así que supera los objetivos del plan del FCH.

Las estrategias y planes descritos presentan, en general, un panorama de despliegue lento de las tecnologías del hidrógeno debido en parte a la premisa de que no va a ver escasez de petróleo ni de gas natural en las próximas décadas, por lo que el precio del hidrógeno renovable no será competitivo a corto y medio plazo. El Plan de Aplicación de EE UU establece los siguientes objetivos de costes: obtener hidrógeno del gas natural a un precio equivalente a 1,5$/galón de gasolina y de 2,0$/galón a partir de la energía eólica. El precio de las gasolinas superó ampliamente los 4$/galón en 2008. HyWays se basa en unas previsiones de precios del barril de petróleo de 26-81$ (media de 50$) para 2010 y 54-217$ (media de 135$) en 2050 (Hayway, 2007*a*).

La inversión pública anual en el mundo fue de unos 1.040 M$ en el periodo 2003-2005, repartidos de la forma siguiente: Japón (30%), UE y EE UU (24% cada uno) y un 14% el resto del mundo. Pero la UE lidera la inversión pública a partir de 2009 debido a que la JTI invertirá cerca de 1.000 millones de euros en seis años en un proyecto denominado *New Energy World*, aunque solo la mitad de la misma será pública, con el objetivo del despliegue masivo de las tecnologías del hidrógeno antes de 2020 y, como de costumbre, alcanzar el liderazgo mundial del sector. Ya lo tiene en transporte (EHA, 2010: 5).

4.2. DESARROLLO DE CÉLULAS PORTÁTILES

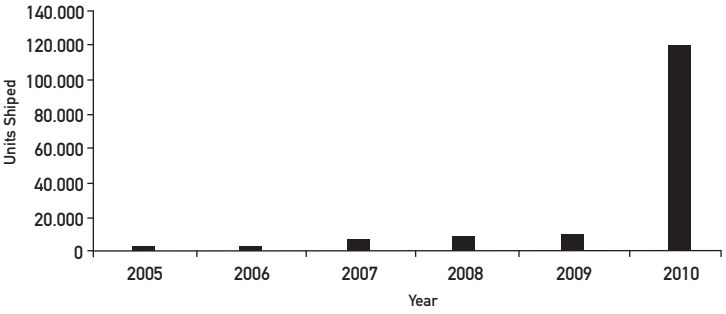
Las células de combustible están entrando en fase de comercialización en algunos nichos de mercado en los que ya ofrecen claras ventajas sobre las tecnologías existentes. Esto ocurre sobre todo en juguetes y kits educativos, y empieza a serlo en algunos aparatos electrónicos portátiles, producción eléctrica de emergencia, en tracción de carretillas elevadoras, en electricidad auxiliar, en autocaravanas y embarcaciones de recreo, en aplicaciones militares de todo tipo, etc.

El número de células vendidas en los últimos años se ha incrementado en torno a un 70% anual. En 2007 fueron 12.000 (>75% que en 2006), lo que le lleva

al analista J. Butler a afirmar: "Creemos firmemente que la comercialización empezó en 2007" (Butler, 2009). En 2008 las unidades nuevas fueron 18.000 (+50%). Pero es 2010 el año en que se empieza realmente la comercialización en masa al alcanzar 120.000 unidades solo en usos portátiles (casi diez veces más que en 2009), aunque la inmensa mayoría (más de 100.000 unidades) son juguetes educativos (potencia en torno a 1w) y kits de enseñanza. La consultora Fuel Cell Today (2010) considera que las aplicaciones portátiles incluyen también las de transporte y las clasifica según potencia: micro-portátil (< 5w); portátil pequeño (5-500w); y gran portátil (>500w), que se utilizan en vehículos. También prevé que en 2020 las células de 1-100w alcancen un mercado de 40 millones de unidades. El crecimiento explosivo de las células micro-portátiles acelerará el desarrollo de todas las aplicaciones.

GRÁFICO 2

VENTAS EN UNIDADES EN EL PERIODO 2005-2010



FUENTE: FUEL CELL TODAY (2010) (2010 PORTABLE FUELL CELL ANALYSIS).

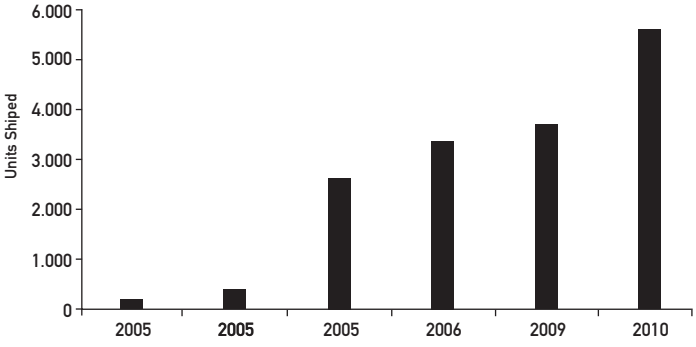
Las células aplicadas a aparatos electrónicos portátiles constituyen el segmento que tiene más avanzada la comercialización en masa (después de los juguetes y kits educativos), porque (al igual que los anteriores) se muestran muy superiores a las baterías. La industria electrónica demanda cada vez más energía por el rápido aumento de las funciones de sus aparatos. Y las células ofrecen una densidad energética por unidad de peso muy superior a costes bajos, pero su comercialización se ha retrasado por problemas de durabilidad, miniaturización y fiabilidad. En 2010 empezaron a solventarlos. Toshiba comenzó a vender cargadores y se anuncia la inminente comercialización de un ipad de Apple y un lector de Kindle (Butler, 2009; Fuel Cell Today, 2010).

Las células de combustible se utilizan en los múltiples vehículos existentes como elemento de tracción y también para producir electricidad auxiliar en autocaravanas, embarcaciones de recreo y camiones. Y este uso supone más del 70%

de las células vendidas en el transporte. Otro nicho de mercado muy importante (sobre todo en EE UU porque está subvencionado) es el de las carretillas elevadoras. Se prevé que esta aplicación crecerá al ritmo anual del 100% en los próximos diez años. Las MIP acaparan la gran mayoría de este sector (96% en 2010), frente al 4% de las MD, y la hegemonía de las primeras sigue reforzándose. Se prevé que las ventas de unidades de este grupo aumenten en 2010 alrededor de un 50% en relación con 2009, alcanzando algo menos de 5.000 unidades, tal como muestra el gráfico 3 (Callaghan *et al.*, 2010; Fuel Cell Today, 2010).

GRÁFICO 3

UNIDADES DE CÉLULAS VENDIDAS ANUALMENTE PARA DIVERSAS APLICACIONES EN VEHÍCULOS



FUENTE: CALLAGHAN *ET AL.* (2010).

Hemos visto que los Estados están centrados en la aplicación de la célula a coches. En consecuencia, se retrasa su aplicación a los vehículos de transporte ferroviario, marítimo y aéreo, e incluso al autobús. Aunque la estrategia tecnológica de la UE SETplan pretende impulsarlos, su retraso es grande. Y, sin embargo, sería mucho más fácil introducir las pilas en los vehículos indicados (salvo en el avión), porque tienen amplio espacio para almacenar hidrógeno y no requieren unas prestaciones tan exigentes como las del coche (alta autonomía, reducido espacio de almacenamiento de hidrógeno, alta durabilidad de las pilas, etc.).

Muchos fabricantes de automoción (Honda, Daimler, Toyota, etc.) están convencidos de que solo el hidrógeno garantiza el futuro del sector y que los coches eléctricos y las variantes de coches híbridos son pasos intermedios (y facilitadores) hacia la tracción de célula, mientras se construye su infraestructura. T. Fukui, presidente de Honda en 2007, afirmaba que "no hay futuro para la industria automovilista sin pilas de combustible". T. Ito, el nuevo presidente, afirma que están desarrollando coches híbridos porque en EE UU "la construcción de estaciones de

servicio de H2 es lenta" (Hydrogen Mirror, 1/2010). Mientras que los rendimientos de los motores de combustión se sitúan en el entorno del 20% (17-18% en EE UU), el de las células para automoción puede llegar al 60%. Por ello, y a pesar de que la producción de hidrógeno supone mayor energía consumida que la que se invierte en la cadena de producción de gasolinas, se espera un rendimiento doble del de un coche convencional. Su comercialización exige una vida de cinco años (200.000 km) y más de 400 km sin repostar. Estos objetivos han sido alcanzados por algunos fabricantes, pero el coste y el peso del depósito aún son excesivos (Callaghan *et al.*, 2010).

Al menos, desde 2004 las compañías principales han venido probando series de automóviles. Al principio testaban una o varias docenas, pero ahora lo hacen con series de hasta 200 unidades. Honda y Daimler alquilan coches en California por 600-800$/mes y durante tres años. Los primeros consumen energía equivalente a 3,2 l de petróleo/100 Km y los segundos, 2,9. En 2010, 500 coches habían hecho ya 15 millones de km y 90.000 recargas. Así que "el foco se desplaza de la demostración al despliegue de la comercialización" (Mckinsey & Co, 2010), y las empresas prevén vender 100.000 coches en la UE en 2015 y un millón en 2020. Algunas compañías anuncian que sus coches costarán unos 50.000 dólares, pero se espera una reducción del 90% para 2020 (Hydrogen Mirror, 5/2010).

A finales de 2008 existían 175 estaciones de servicio (84 en Norteamérica y 67 en la UE). Otras 108 se encuentran en diferentes estados de desarrollo. California está desarrollando la estrategia *California Hydrogen Highway*. A principios de 2009 tenía 26 estaciones de servicio, pero solo 6 eran públicas. Pretende construir 46 más. La UE pretende construir la infraestructura básica para 2017 en dos fases. En la primera se crearían 30 regiones de demostración (ya están funcionando) con 9 estaciones en cada una. En la segunda fase se irían conectando las zonas con nuevas estaciones. Pero algunos Estados y regiones van más avanzados. A finales de 2009 en Alemania un grupo de empresas de energía se comprometieron a construir una red de estaciones de servicio por todo el país para 2015 y poner en carretera ese año cantidades significativas de coches y cientos de miles poco después. El proyecto *Scandinavian Hydrogen Highway Partneship* pretende unir los países escandinavos y éstos con Alemania. El objetivo es construir 15 estaciones entre 2012 y 2015. Grupos de empresas semejantes a las alemanas están acordando el mismo tipo de pacto en Japón, Corea del Sur, etc. (EHA, 2010).

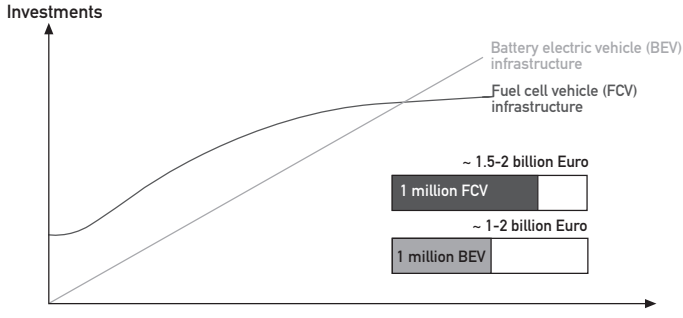
Las flotas de vehículos cautivos (autobuses, taxis, furgonetas de reparto) constituyen el mercado temprano de mayor potencial, por utilizar recarga de combustible centralizada y porque el sobrepeso del sistema no supone un problema importante. La UE puso en marcha en 2003 el programa CUTE, en el que diez ciudades utilizaron tres autobuses Daimler cada una. En 2006 lanzó el programa

HyFLEET, con 50 autobuses Daimler de nueva generación para ser utilizados en nueve ciudades. Ambas experiencias fueron un éxito total: los utilizaron 8,5 millones de pasajeros y recorrieron 2,5 millones de kilómetros. Europa posee el 53% de los autobuses y produce el 67% de ellos. La UE pretende poner en funcionamiento 500 unidades en 2015. Muchas grandes ciudades europeas (lideradas por Hamburgo) están poniendo en marcha planes de introducción de autobuses de célula de hidrógeno. Daimler presentó en 2010 un modelo avanzado con autonomía de 240 Km. La European Hydrogen Association (EHA) afirma que el autobús "está cerca de la comercialización" (Hydrogen Mirror, 1/2010; EHA, 2010).

La experiencia en cambio de combustibles indica que es necesario que un 15-20% de las estaciones de servicio ofrezcan hidrógeno para entrar en la producción en masa de vehículos. En el proyecto HyWays se estima que los costes de construir la red de estaciones de servicio para menos de 25 millones de vehículos en 2025 se cifra en cerca de 60.000 millones de euros (Hyways, 2007*a*). El estudio alemán citado estima que el coste sería mucho menor: entre 25.000 y 50.000 millones de euros (McKinsey, 2010: 6). El gráfico 4 muestra que esta tecnología y la eléctrica pura tienen costes semejantes de infraestructuras hasta un millón de vehículos. A partir de esta cantidad la segunda resulta más barata. Pero, de ser cierto el segundo estudio, el umbral de costes menores estaría alrededor de un millón. Ello lleva a la conclusión de que no tiene sentido un despliegue masivo de instalaciones de carga rápida para una fracción de mercado pequeña, que será utilizado en trayectos cortos. Además, la infraestructura de hidrógeno sirve para todo tipo de vehículos (por lo que su cuota de mercado será mucho mayor) y se prevé que para 2020 los precios de los vehículos de célula se reduzcan en un 90%, mientras que los eléctricos lo hagan en un 80% (McKinsey, 2010).

GRÁFICO 4

COSTES DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA PARA COCHES ELÉCTRICOS Y DE CÉLULA DE HIDRÓGENO



FUENTE: WURSTER *ET AL.* (2010: 27).

La aplicación de las células a la tracción de vehículos de otros modos ha estado centrada en el coche, pero se empieza a dinamizar, al menos en la UE. La aplicación de las células al tren es una de las más claras. Diversos institutos han desarrollado prototipos de trenes y tranvías. Entre 2000 y 2009 se iniciaron, sucesivamente, proyectos de una locomotora minera, un tranvía, un tren militar, una línea (57 Km) danesa (subvencionado por la UE y se espera que se inaugure en 2010) y una locomotora. El sector de la aviación también empieza a moverse. Boeing realizó con éxito una prueba con un avión de pila de hidrógeno tripulado en 2008, Airbus hizo lo mismo en 2009, al igual que un consorcio europeo. Una compañía israelí ha diseñado un avión de diez pasajeros financiado por la UE. La NASA está trabajando en la propulsión de reactores y aviones de hélice mediante hidrógeno. Varias compañías están diseñando modelos de aviones no tripulados, uso que está generando una creciente atención. Pero solo se espera que las células sean utilizadas para producir electricidad auxiliar en los aviones grandes a medio plazo (Adamson y Callaghan, 2009; Fuel Cell Today, 2010). Se desarrolla lentamente la aplicación en la tracción de embarcaciones de pasajeros. Desde 2005 se está produciendo un goteo de ciudades portuarias (la mayoría europeas) que ponen en servicio barcos de pasajeros.

4.3. OTRAS APLICACIONES

Los analistas coinciden en que existe un gran mercado potencial para las células de combustible estacionarias. Se definen dos grupos: pequeñas aplicaciones (0,5-10 Kw) y grandes aplicaciones (> 10 Kw). Tienen dos tipos de aplicaciones: como elemento de reserva, para actuar en caso de corte del suministro eléctrico, y para producir electricidad y agua caliente en viviendas. En 2008 se vendieron 4.000 unidades (+79% que en 2007). Norteamérica acapara 2/3 de este mercado y se espera un rápido desarrollo. En viviendas, las compañías se han decantando por células de 1-1,5 Kw, con el objetivo de que den un servicio básico de electricidad y agua caliente. Para los picos de consumo se utilizará la red. En Japón había instalados en 2009 más de 3.000 sistemas, debido al fuerte apoyo del gobierno. Se espera el inicio de la venta en masa a partir de 2012. Existen tres segmentos de mercado de grandes aplicaciones: pilas de 10 Kw (centros de datos), de 250-400 Kw (edificios de oficinas, hospitales, etc.) y de más de 2 Mw para producción de electricidad para la red. En los últimos años las ventas anuales están estancadas en 50 unidades, pero con potencias en rápido crecimiento. EE UU domina este mercado. Un estudio de Fuel Cells 2000 llega a la conclusión de que 38 grandes empresas (Ikea, Google, Walmart, Michelin, Motorola, etc.) habían instalado o contratado más de 1.000 carretillas elevadoras,

58 unidades estacionarias y más de 600 unidades en centros de telecomunicaciones (Adamson, 2009; Fuel Cells, 2000, 2010).

El apoyo de algunos ejércitos (especialmente de EE UU, Canadá y Alemania) desde la década de los ochenta ha posibilitado que hoy las células estén entrando en la producción masiva en algunas aplicaciones tempranas, y siguen desempeñando una tarea clave. En 2005 pasaron de ser solo proveedores de fondos para I+D a convertirse también en adaptadores tempranos. Las células ofrecen alta densidad de potencia y poco peso, son silenciosas y apenas dejan trazas térmicas (por lo que los vehículos son muy difíciles de detectar), tienen una mayor capacidad de aceleración que los motores convencionales, alimentan los sistemas de comunicaciones y permiten una mayor autonomía de los acuartelamientos y unidades móviles porque pueden producir hidrógeno a partir de energía solar. Estas propiedades compensan los precios más altos. Están probando pilas portátiles, estacionarias y aplicadas a vehículos. Los ejércitos de Francia, Gran Bretaña y EE UU están utilizando células para que cada soldado esté comunicado con sus mandos. El ejército estadounidense está desarrollando un proyecto piloto para suministrar electricidad a 60 cuarteles, que es continuación de otro desarrollado con éxito en la década de los noventa de suministro de electricidad a 30 cuarteles. También está probando varios vehículos y aumenta rápidamente su demanda de pequeños aviones espías no tripulados. En Alemania el astillero HDW viene construyendo submarinos propulsados por células para la armada alemana y para otros muchos países. La utilización de pilas como reserva de generación de electricidad es habitual en los navíos estadounidenses y en los submarinos las utilizan durante la inmersión (www.hyweb.de).

CAPÍTULO 15

LAS SOCIEDADES EN EMERGENCIA ENERGÉTICA

Este capítulo consta de los apartados siguientes: génesis y desarrollo de la SEE, fases de actuación que culminan con la definición y puesta en práctica de estrategias transformadoras, analizar y por último evaluar la transcendencia del fenómeno. De acuerdo con estos objetivos, lo dividimos en los apartados siguientes: génesis, desarrollo y características de las SSE, análisis comparado de las dos organizaciones que componen el movimiento y reflexión final.

1. GÉNESIS, DESARROLLO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS SOCIEDADES EN EMERGENCIA ENERGÉTICA

Se manifiestan, al menos, tres tipos de SEE: Estados, estados federados y regiones, los cuales no tienen coordinación entre sí, aunque frecuentemente influyen en otras sociedades; el movimiento de las sociedades denominado *Post Carbon Cities* (PCC), centrado en Norteamérica, y el movimiento de las *Transition Towns* (TT), que se ha desarrollado en Gran Bretaña y se está extendiendo por todo el mundo. A diferencia de otras dinámicas institucionales de avance hacia la sostenibilidad, donde la labor pionera ha sido realizada por algunos gobiernos municipales (como son los casos de las Agendas 21 Locales y el trabajo contra el cambio climático), en el caso de las SEE algunos gobiernos estatales y regionales han sido iniciadores, aunque las

transformaciones realizadas hayan sido escasas, cuando no nulas. En este apartado haremos una descripción cronológica del desarrollo de las SEE.

El Gobierno de Australia Occidental aprobó una estrategia de sostenibilidad en diciembre de 2003 (realizada con una alta participación de las áreas de gobierno, expertos y de la ciudadanía por medio de múltiples seminarios) que solo contiene propuestas generales. En ella se explica la proximidad del techo, pero tal hecho no supuso que se convirtiera en el eje de la estrategia. A pesar de ello, el gobierno ha venido declarando que es consciente de la vulnerabilidad del Estado ante el petróleo. A. MacTiernan (2004), ministra de Planificación e Infraestructuras, declaró en 2004, en un Seminario Internacional sobre el Techo del Petróleo, que "nuestro gobierno reconoce que nuestra dependencia continua del petróleo nos hace vulnerables a las crisis futuras" y que tenía una estrategia destinada a "minimizar la dependencia del petróleo a largo plazo del Estado", basada en las siguientes líneas maestras: diversificar los combustibles, reducción de la dependencia del transporte por carretera e integración del transporte y la planificación del uso del territorio. Pero en 2007 el primer ministro (que había sustituido al que inició el proceso) realizó una declaración institucional (*Making Decisions for the Future: Climate Change)* sobre el cambio climático, aunque aparecen unos objetivos estimables de reducción del uso de los combustibles fósiles (Carpenter, 2007).

El primer ministro de Francia y el de Suecia realizaron sendas declaraciones a principios de septiembre de 2005 sobre el problema del petróleo (impresionados por el impacto sobre el sector petrolero de EE UU de los huracanes *Katrina* y *Rita*, producidos un poco antes de las declaraciones). El primer ministro francés dijo que "hemos entrado en la era pospetróleo [...] y deseo sacar las consecuencias de esto y dar un impulso real al ahorro de energía y al uso de las energías renovables". El segundo declaró que el techo del petróleo estaba cerca y que era necesario diseñar una estrategia de eliminación del uso de los combustibles fósiles para 2020. En 2005 el Partido Laborista de Nueva Zelanda presentó un escrito que asumía la proximidad del techo y la necesidad de cambiar de modelo energético. En abril de 2006 la primera ministra declaró que el mundo estaba ya en el techo del petróleo o muy cerca de él. Pero, exceptuando al gobierno sueco, el resto no actuó en consecuencia. En 2005 el gobierno del estado australiano de Queensland creó la comisión *Queensland`s Oil Vulnerability Taskforce* para analizar la posibilidad de "que el suministro mundial de petróleo pueda disminuir en el futuro" y "que el *techo del petróleo* pueda ser un fenómeno mundial". En octubre de 2007 fue aprobado por el gobierno y publicado (New Zealand Labour Party, 2005; McNamara, 2007).

Además, los gobiernos y los parlamentos de múltiples sociedades muestran signos inequívocos de la aceptación del techo del petróleo, pero carecemos de

información sobre las transformaciones emprendidas, por lo que no las hemos incluido en la relación. Expondremos algunos casos no citados hasta ahora. El Senado de Australia del Sur (2008) elaboró un informe sobre el impacto del techo del petróleo en el que le pedían (entre 23 recomendaciones) al gobierno que de forma urgente creara un grupo de estudio y que el Plan Estratégico que tiene elaborado sea corregido para incluir el techo del petróleo. Los Gobiernos de Japón y de Hong Kong han pedido sendos informes sobre el techo y ambos muestran la enorme amenaza que supone (http://postcarbon cities.net/node/3568).

En otoño de 2005 empezó un goteo de resoluciones municipales en las que se declaraban en emergencia energética por la cercanía del techo del petróleo y empezaban a actuar en consecuencia. En la actualidad hay muchas poblaciones que están haciendo, pero solo citaremos en la tabla 1 las poblaciones de más de 50.000 habitantes (salvo el caso de los dos municipios pioneros) y que han hecho una declaración (salvo Bristol, que solo tiene una estrategia).

TABLA 1

FECHAS DE LAS RESOLUCIONES DEL TECHO DE LAS SOCIEDADES MÁS RELEVANTES

LOCALIDAD	FECHA	POBLACIÓN	LOCALIDAD	FECHA	POBLACIÓN
Willits (California)	dic.-05	15.000	Estado de Connecticut	nov.-07	3.400
Franklin (Nueva York)	dic.-05	2.000	Berkeley (California)	dic.-07	101.000
Burnaby (Canadá)	ene.-06	203.000	Bloomington (Indiana)	dic.-07	72.000
Asociación de Gobernadores del sur de California	mar.-06	18.000.000	Sunshine Coast (Australia)	dic.-07	260.000
San Francisco (California)	abr.-06	744.000	Hervey Bay (Australia)	dic.-07	52.000
Área metropolitana de Portland (Oregón)	abr.-06	1.400.000	Darebin (Australia)	feb.-08	128.000
Hamilton (Canadá)	abr.-06	505.000	Spokane (Washington)	feb.-08	201.000
Isla de la Palma (España)	abr.-06	86.000	Maribyrnong (Australia)	abr.-08	63.000
Portland (Oregón)	may.-06	537.000	Estado de Minnesota	may.-08	5.198.000
Bloomington (Indiana)	jul.-06	72.000	Condado de Whatcom (Washington)	may.-08	186.000
Brisbane (Australia)	ago.-06	1.858.000	Bellingham (Washington)	may.-08	78.000
Oakland (California)	oct.-06	402.000	Cleveland (Ohio)	jun.-08	438.000
Marrickville (Australia)	feb.-07	76.000	Condado de Somerset (Reino Unido)	jul.-08	518.000
Condado de Alachua (Florida)	mar.-07	240.000	Chapel Hill (Carolina del Norte)	oct.-08	55.000
Austin (Tejas)	sep.-07	743.000	Nottingham (Reino Unido)	dic.-08	289.000
			Bristol (Reino Unido	2009	400.000

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La mayor parte de las poblaciones señaladas se encuadran en el movimiento liderado por el Post Carbon Institute (PCI), en las que una declaración del gobierno sobre la existencia de una emergencia energética inicia una dinámica

transformadora. Pero en la mayoría de los casos el movimiento de las TT no es tan fácil definir un acto que confirme que los gobiernos aceptan la proximidad del techo del petróleo, porque los grupos de activistas son considerados miembros del mismo cuando cumplen unos requisitos, entre los cuales está el que tengan influencia en el equipo de gobierno de sus municipios. Sin embargo, los municipios grandes y las regiones ubicados en TT terminan aprobando resoluciones del techo del petróleo, como son los casos de Nottingham, del condado de Somerset y de Sunshine Coast, razón por la que los hemos citado en la lista anterior. Pero, a pesar de la dificultad de conocer la labor que cada grupo está realizando, existen numerosos datos de desarrollo de políticas transformadoras. Este hecho y su rapidísimo crecimiento y extensión mundial lo convierten en un fenómeno de gran importancia.

2. ANÁLISIS COMPARADO DE LOS MOVIMIENTOS DE LAS SOCIEDADES EN EMERGENCIA ENERGÉTICA

Como el primer tipo de las SEE (Estados y regiones) no constituye un movimiento, nos centraremos en el análisis de los otros dos: el movimiento de las sociedades denominado PCC y el de las *Transition Towns*, ambos impulsados por dos organizaciones: el PCI y la Transition Network (TN). Las dos promueven la creación de grupos de activistas que se proponen concienciar a las poblaciones del techo del petróleo y del cambio climático y, en última instancia, a los gobernantes para que promuevan políticas transformadoras. Sin embargo, difieren en diversos aspectos: los modelos organizativos, las formas de participación, los objetivos de los grupos y, por tanto, sus funciones, etc. Para analizarlos disponemos de los manuales que cada movimiento ha elaborado: *Post Carbon Cities: Planning for Energy y Climate Uncertainty* de Daniel Lerch (2007) y *The Transition Handbook. From oil dependency to local resilience*, Rob Hopkins (2008), además de múltiples documentos que han venido elaborando posteriormente.

Hay un amplio consenso básico entre ambos movimientos. Apoyan la creación de economías descentralizadas, con alto grado de autosuficiencia, sostenibles y que no crezcan (aunque este último punto no lo suelen aceptar las ciudades). Coinciden en que la movilización de las comunidades es una pieza básica para producir transformaciones y una alta cohesión social, aparte de ser un valor intrínseco, facilita los cambios. Pero difieren en los papeles que deben jugar las comunidades y las autoridades y en la organización de los movimientos.

La TN nace en el mundo rural y se focaliza en ese mundo, aunque no desdeña actuar en grandes poblaciones. La PCC se centra en las ciudades.

El PCI busca, a través de procesos de concienciación de las comunidades y de los gobernantes sobre la existencia del techo del petróleo y de la amenaza que supone para las sociedades, que los gobiernos inicien procesos que culminen en el diseño (participativo) y en la puesta en práctica de estrategias de construcción de sociedades descarbonizadas, sostenibles y cohesionadas. Promueve el fortalecimiento del movimiento y trabaja, según Lerch (2008), con cerca de 200 grupos por medio de la *Relocalization Network*, pero su libro está dirigido a las ciudades. Para lo cual creó en 2007 el programa de PCC. El PCI se asigna la tarea básica de elaborar alternativas. En un Manifiesto de 2009 afirma: "El PCI se dedica a responder a la cuestión central de nuestro tiempo: *Cómo realizar la transición a un mundo de poscrecimiento, poscombustibles fósiles y de un clima cambiante"*. Porque "*lo que falta es una visión unificada de los retos y soluciones que muestren que todos los campos están relacionados"*. Para realizar esta misión está desarrollando, como pieza central, "una comunidad selecta de *Post Carbon Fellows"*, los cuales, aparte de escribir regularmente sobre sus campos de especialización, realizarán anualmente un "*Roadmap For the Transition*, cubriendo las áreas principales". Las alternativas que vaya elaborando las "distribuirá a individuos, comunidades, empresarios y gobernantes que las necesiten". Además, "dará a conocer las ciudades y empresas verdes destacadas, las iniciativas de las *Transition Towns* y los desarrollos de las Eco-poblaciones, las cooperativas de energía local y a las ONG innovadoras" (Post Carbon Institute, 2009). Ello explica que en 2009 llegara a un acuerdo de colaboración con Transition USA, la organización en EE UU de TN. Pero Lerch se centra en las ciudades: "El *Post Carbon Cities: Planning for Energy an Climate Uncertainty* provee de guía y apoyo a los responsables de los gobiernos locales para que logren tres objetivos: romper la dependencia del petróleo, eliminar las contribuciones al calentamiento mundial y preparar a la comunidad para que prospere en un tiempo de incertidumbre de energía y clima" (Lerch, 2008: v). Además, dedica mucho espacio a describir las experiencias de las ciudades más destacadas y saca tres rasgos básicos de las mismas: "realizar una declaración gubernamental sobre el tema" (techo del petróleo), "involucrar tanto al gobierno como a la comunidad" y "organizar y dirigir las *task forces* cuidadosamente" (Lerch, 2008: 50). Enfatiza la "construcción de un sentido de comunidad" y el enfoque de *relocalization*: "reducir el consumo y producir localmente [...] Cuantos más alimentos, energía y productos básicos manufacturados pueda producir tu

comunidad, menos vulnerable será a las subidas de los precios del petróleo y a sus inestabilidades" (Lerch, 2008: 66).

El movimiento de las *Transition Towns* empezó en la población irlandesa de Kinsale en 2006, cuando el gobierno municipal adoptó la estrategia *Kinsale 2021: An Energy Descent Action Plan*, elaborada por un grupo dirigido por Rob Hopkins, el cual se convierte en el creador y principal teórico y director del movimiento. Y ello se manifiesta en que la estrategia es el referente del movimiento de las TT y en que el municipio inglés de Totnes (8.500 habitantes) se haya convertido en el referente práctico del movimiento, ya que Rob Hopkins vive en él. Las TT han desarrollado una muy eficiente metodología de actuación de los grupos para concienciar a la población y a las autoridades políticas y de actuación práctica de las organizaciones locales.

Su manual parte de la idea de que la crisis energética obligará a crear sociedades muy austeras, porque niega que las energías renovables puedan suministrar una cantidad de energía semejante a la que aportan las energías convencionales (afirma que las tecnologías de captación tienen unos balances energéticos muy pobres) y porque descarta que el hidrógeno se pueda convertir en el combustibles alternativo. Por ello defiende la necesidad de provocar un "descenso energético". Su visión se refleja en la cita que toma de David Holmgren: "Uso el término descenso como la palabra que con menos peso dramático expresa la inevitable y radical reducción de consumo material y/o de número de personas que caracterizará el declive en abundancia y disponibilidad de los combustibles fósiles en las décadas y centurias próximas" (Hopkins, 2008: 53). Aunque esta sociedad será más feliz: "Solo estamos empezando a rascar la superficie del poder de una visión positiva de un futuro abundante: una de bajo consumo de energía, rica en tiempo, menos estresante, más saludable y feliz" (Hopkins, 2008: 94). Por otro lado los grupos de base deben dirigir los procesos de cambio: "El poder del proceso de Transición es su potencial de creación de un proceso dirigido por la comunidad que interactúa con los políticos locales, pero en sus propios términos. El papel que identificamos para las Autoridades Locales es el de apoyo, no el de dirección" (Hopkins, 2008: 144). Visión que sintetiza en el lema "Apoyar, pero no dirigir" (Brangwyn y Hopkins, 2008). Por ello es crítico con las Agendas 21 Locales y las PCC. Sobre éstas afirma: "Para muchas poblaciones de EE UU, tales como Portland y Oakland, la aprobación por parte de la autoridad local de una Resolución del Techo del Petróleo es visto como un paso clave. Puede que sea así, pero mi opinión es que el primer paso importante es involucrar a la comunidad en la concienciación y en acumular energía para el proyecto, en vez de desaparecer en una fase inicial en un

mundo desconcertante de escritos y trabajos a escala de gobierno local" (Hopkins, 2008: 145).

La necesidad de crear comunidades que promuevan las transformaciones necesarias le obliga a la TN a establecer una organización fuerte y flexible, pero garante del cumplimiento de los principios. Los grupos locales son aceptados como miembros del movimiento a partir de que cumplan 15 requisitos. Algunos de ellos son: tener una comprensión del techo del petróleo y del cambio climático como los impulsores de la actuación; aportar un grupo de 4-5 personas dispuestas a asumir labores de liderazgo y dos miembros que asistan a un curso inicial de dos días; tener la posibilidad de establecer una fuerte conexión con el Consejo local; informar regularmente a la TN, colaborar en el blog de la organización, etc. A cambio la TN les ofrece un amplio apoyo. Ha establecido una guía de actuación que contiene doce pasos diseñados a partir de la experiencia, aunque no es necesario cumplirlos todos, que culminan con la elaboración del *Energy Descent Action Plan* (EDAP). Empieza con la creación del grupo local, que inicia sus actividades desarrollando campañas de concienciación y al mismo tiempo entra en contacto con los grupos de activistas existentes. Posteriormente se celebra la presentación oficial del grupo, se crean los grupos de trabajo, los cuales, a medida que van diseñando su visión, promueven la aplicación de alguna propuesta, para evitar la sensación de que solo se teoriza. Es lo que se define como "desarrollo de manifestaciones prácticas y visibles del proyecto". Además, es muy importante desarrollar una fuerte relación con las autoridades. Estos grupos han encontrado un eco positivo en los consejos municipales, hasta el punto de que, frecuentemente, sus miembros les ofrece su apoyo (Brangwyn y Hopkins, 2008: 24-28).

Sin embargo, los municipios grandes suelen adoptar la dinámica típica de las PCC: declaración del techo, nombramiento de un grupo para estudiar el fenómeno y las consecuencias para la sociedad en cuestión, etc. Por ejemplo, la resolución de Nottingham dice que el "Consejo reconoce el impacto que viene del techo del petróleo", por lo que "necesita responder", desarrollando un análisis de vulnerabilidad y definiendo las líneas maestras de las nuevas políticas energéticas y de transporte (www.postcarboncities.net/node/4016). A pesar de ello, la comunidad tendrá un protagonismo mayor que en el caso de las PCC, por la dinámica que lleva a esta etapa y porque el movimiento se mantiene activo. Pero, al mismo tiempo, son consideradas parte de las PCC, porque contabiliza solo los municipios que siguen la dinámica típica. Sin embargo, Somerset y Leicestershire han aprobado resoluciones de apoyo a las iniciativas locales de TT (EDAP, 2010).

El movimiento tiene una dinámica de desarrollo explosiva. En junio de 2008 alcanzaba a 42 poblaciones inglesas, cinco poblaciones escocesas y otras siete galesas (a principios del año solo había dos), una en Irlanda, tres en Nueva Zelanda y una en EE UU. En total eran 59 poblaciones. En 2010 hemos contabilizado 303: Reino Unido (156), EE UU (74), Australia (30), Canadá (17), Nueva Zelanda (8), Irlanda (3), resto de Europa (12) [Alemania (3), Holanda (3), Dinamarca (2), Italia (1), Portugal (1), Finlandia (1) y Bélgica (1)], Japón (3) y Chile (1). Probablemente sean bastantes más, porque la información no es completa. Por ejemplo, TN informa en 2010 de un potente desarrollo del movimiento en Brasil (http://transitiontowns.org).

Tal vez por la enorme experiencia acumulada entre 2008 y 2010, Hopkins ha cambiado su discurso en aspectos importantes, que presenta en varias comunicaciones del blog del PCI (lo cual es muy indicativo) de 2010. El lema "Apoyar, pero no dirigir" ha cambiado. Ahora se reconoce que hay áreas como la gobernanza, empresas sociales y sus interconexiones "que caen (al menos en el caso de Totnes) fuera del interés y conocimiento de la comunidad y que son esenciales para lograr una comprensión general. Son áreas que normalmente competen a los planificadores del Consejo, a las consultoras, a las empresas, etc.", y ello es especialmente relevante en las ciudades. Por lo que se "trata de trabajar con el Consejo local para influir en su trabajo y para extenderlo entre la comunidad". Por otro lado, afirma que el movimiento tiene las cualidades siguientes: viral (se extiende rápidamente), ámbito abierto, autoorganizado, focalizado en las soluciones, interactivo, clarificador, sensible al lugar y la escala, histórico (sentido de estar inmerso en una oportunidad histórica) y divertido. Y este "modelo de lenguaje hace a Transition mucho más accesible que los 12 pasos". El EDAP de Totnes pretende que las energías renovables alcancen el 50% del consumo energético, así que ha cambiado su visión sobre las mismas. Por último, Hopkins anuncia que la segunda edición del Manual "será muy diferente de la primera", pero espera que refleje a Transition mucho mejor (www.postcarbon.org/blog-post).

3. FASES QUE CULMINAN EN EL DISEÑO Y APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS

Existen múltiples factores que determinan una notable dificultad para evaluar las transformaciones que se están produciendo: abarcan desde Estados hasta poblaciones pequeñas; es difícil lograr información actualizada de muchos municipios, especialmente cuando son pequeños; existe una gran variedad de

órganos de gobierno, con funciones y responsabilidades muy diversas; es difícil evaluar la importancia de los objetivos sin tener información suficiente de su situación de partida; las trayectorias son frecuentemente no lineales, con fuertes avances (Queensland, Vancouver, etc.), estancamientos e incluso retrocesos, debido a los cambios de gobierno (Suecia, Australia Occidental, etc.); es difícil determinar el grado de avance hacia los objetivos, etc. A pesar de todo ello, es evidente que nos encontramos ante un potente proceso emergente de experiencias transformadoras, que tiene una extraordinaria importancia, porque nos muestra que un nutrido grupo de sociedades están marcando el camino que deberá seguir el resto. La dinámica típica, especialmente en las PCC, tiene las fases de aprobación de resoluciones o realización de declaraciones por parte de la máxima autoridad, realización de estudios de vulnerabilidad, elaboración de planes de choque y definición de estrategias.

3.1. RESOLUCIONES Y DECLARACIONES

El caso más típico es el de resoluciones, que pueden ser complejas o escuetas.

Resoluciones

a) *Típica:* Este tipo de resolución tiene la mayor parte o todos los elementos siguientes:

- Se constata la alta dependencia del petróleo (Isla de la Palma, San Francisco).
- Se explica muy brevemente el agotamiento del petróleo (se encuentra en todas las experiencias citadas). Se cita la vulnerabilidad de sus estados (Austin, Oakland, Berkeley, Parlamento de Minnesota e Isla de La Palma) e informes elaborados o encargados por organismos estatales (en el caso de ciudades de EE UU) que alertan sobre el tema.
- Se explica el tremendo desafío que supone la crisis energética (San Francisco, Bloomington, La Palma, Austin, Berkeley, Minnesota).
- Se descarta que la aplicación de nuevas tecnologías para usar las fuentes tradicionales puedan ser la solución (Bloomington, La Palma, San Francisco, Minnesota).
- Se enfatiza que estas sociedades tienen una tradición que las destaca en la protección del medio ambiente (Portland, San Francisco, Oakland, La Palma, Berkeley, Minnesota).

- Se decide elaborar un análisis de vulnerabilidad (Austin, Berkeley, Minnesota).
- Se decide elaborar estrategias, se describen sus líneas generales y, en algunos casos, los objetivos (La Palma, San Francisco, Portland, Oakland, Bloomington).

En algunos casos incorporan aspectos de un análisis de vulnerabilidad. Se:

- Pide a los órganos de gobiernos superiores (comarcales, regionales, estatales) que tomen medidas. Éste es el caso de Bloomington en relación con el estado de Washington.
- Menciona el elevado coste para las ciudades (Portland) del petróleo y el gas natural.
- Incorpora un pequeño informe que explica el proceso que se ha dado hasta la resolución y se detallan las razones que llevan al convencimiento de la proximidad del techo (Oakland).

En las ciudades y estados se crean grupos de trabajo (*Peak Oil Task Force*) para elaborar una estrategia, definiendo a veces y de forma sucinta la tarea del grupo (Austin). En los municipios pequeños se suele pedir a las organizaciones que han promovido la declaración que elaboren la estrategia.

b) *Resolución escueta:* Es un tipo de resolución (que se suele producir en municipios pequeños) en la que se acepta la proximidad del techo y se establece un convenio con una organización o empresa sin ánimo de lucro para que lidere el proceso de transformación. Éste es el caso de Willits. En Kinsale (Irlanda) la resolución es particularmente escueta: "El Consejo Municipal de Kinsale apoya los esfuerzos de la empresa sin ánimo de lucro Transition Design en su iniciativa de actuar como líder en la transición de Kinsale hacia un futuro energético más bajo y en el desarrollo del concepto de *Transition Towns*; haciendo la transición desde la dependencia de los combustibles fósiles a un estado de independencia energética" (Rooney, 2007).

3.2. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Hay una gran variedad de formas de realizar los análisis de vulnerabilidad. En algunas resoluciones se definen los elementos de vulnerabilidad más importantes. Normalmente los análisis constituyen un paso previo a la definición de

la estrategia, pero en algunos casos aparecen en las líneas generales de las estrategias. En todos los casos se insiste en la enorme vulnerabilidad de las sociedades y, por tanto, en la necesidad de actuar sin dilaciones y con intensidad. Muchas consideran que el techo supone una gran oportunidad para mejorar.

Los rasgos más comunes de los estudios de vulnerabilidad son: se cita la dependencia de las importaciones de petróleo de los Estados a los que pertenecen las sociedades; se afirma, en general, que los impactos del techo serán demoledores en caso de no actuar; se identifican las áreas más vulnerables; se descarta un rápido desarrollo de combustibles alternativos; se declara que los gobiernos dispondrán de menos ingresos en un momento en que se necesitará gastar más para reducir los impactos; se enfatiza que el mayor riesgo es la pasividad.

La resolución de San Francisco afirma que "la disponibilidad de petróleo a precios asequibles es crítica para el funcionamiento de nuestro sistema de transporte, la producción de nuestros alimentos y bienes procedentes de la industria petroquímica; para la pavimentación de carreteras, la lubricación de todas las máquinas y para muchas otras partes de nuestra economía". Declara que la ciudad "depende enteramente de los suministros externos de petróleo, incluyendo el petróleo procesado por las refinerías del Área de la Bahía". Afirma que la intervención de la Administración a todos los niveles es necesaria "para evitar el caos social y económico", porque el desafío "no tiene precedentes". Y recomienda que se haga un amplio estudio que inventaríe las actividades de la ciudad y los recursos necesarios para realizarlas, evaluando el impacto en cada área de una disminución del petróleo disponible y de precios más altos, con el objetivo de desarrollar un plan de acción integrado de respuesta al Techo del Petróleo y a la etapa posterior" (San Francisco City Council, 2006).

La ciudad canadiense de Burnaby (del área metropolitana de Vancouver) pidió un informe sobre el techo del petróleo y las consecuencias para la ciudad (*Global Peak in Oil Production: The Municipal Context)*. Constata que la extracción de un derivado del petróleo de arenas bituminosas (que es la fuente principal de Canadá) es muy intensiva en energía, en agua y de gran impacto ambiental. Por tanto, recomienda empezar a cambiar cuanto antes porque "las consecuencias potenciales son tan enormes que justifican la acción inmediata". Y comienza el apartado de conclusiones con la siguiente cita del informe (el énfasis es del mismo): *"El mundo nunca se ha enfrentado a un problema como éste. Sin una actuación masiva a lo largo de más de una década, el problema será generalizado y no será temporal*" (Burnaby City Council, 2006).

El informe de vulnerabilidad del estado australiano de Queensland afirma "que hay una evidencia abrumadora de que la producción mundial alcanzará su

techo dentro de los próximos 10 años", lo cual supone "un gran riesgo, con impactos no solo en el transporte, sino también en partes clave de la industria y de la comunidad de Queensland", concluyendo que la vulnerabilidad del estado "es particularmente aguda dadas las tendencias de suministro y demanda de petróleo, así como por la distribución regional de la población y de la industria". Esto se concreta en los factores siguientes: población distribuida en un territorio muy extenso; mantenimiento de una desproporcionada red de transporte por carretera para conectar las poblaciones; hegemonía casi total del transporte por carretera y del coche en el transporte de personas; utilización de diesel para producir electricidad en las poblaciones alejadas de los centros poblacionales. Se identifican varios sectores principales para la economía del estado que son particularmente vulnerables al techo: la minería del carbón (que constituye el principal producto de exportación), el turismo (muy intensivo en petróleo porque el modo de transporte más utilizado es el aéreo), el transporte y la agricultura. De todas formas, existe una contradicción entre este severo diagnóstico y los escenarios de crecimiento de precios del petróleo. El escenario bajo prevé una reducción del precio hasta 2050. El escenario medio prevé que se mantenga el precio de 2005 (60d/b) hasta 2015, para después subir hasta 80 $/barril en 2050. En el escenario alto se produce una subida uniforme hasta 110-115 $/barril en 2050. Solo justifica algo el diagnóstico el hecho de que contempla repuntes bruscos de precios. Descarta que sea una solución (por los elevados costes e impactos ambientales) la producción de combustibles líquidos a partir del carbón, gas natural, de rocas asfálticas y biomasa. Por lo que concluye que no hay una alternativa al petróleo aplicable en la actualidad (Queensland` s Oil Vulnerability Taskforce, 2007).

La primera parte de la propuesta de estrategia de Portland es un estudio de vulnerabilidad y constituye un referente por la precisión con que identifica los impactos. Define cuatro áreas que serán las más impactadas: economía, transporte y uso del suelo, alimentación y agricultura, y servicios públicos. El 95% de la energía utilizada en el transporte es petróleo. Afirma que los impactos de los techos del petróleo y del gas natural producirán una crisis económica generalizada. Se producirá una fuerte elevación de los costes de producción y del transporte de alimentos. El uso del coche declinará y la gente buscará modos alternativos. Las personas tenderán a alojarse en los centros de las ciudades. Las empresas buscarán aproximarse a las empresas que forman parte de sus cadenas de producto. Como el transporte de mercancías será más costoso y la actividad económica decaerá, éste disminuirá, especialmente el uso del avión y de la carretera, y se intensificará el uso del ferrocarril y del barco. Disminuirá la variedad de alimentos, serán más caros y provendrán de

lugares más cercanos. La gente con rentas bajas puede que sufra desnutrición, se reducirá la dieta alta en grasas animales por la mayor intensidad energética de su producción y los costes del transporte potenciarán la producción local de alimentos. Habrá cambios radicales en la estructura productiva. Unos sectores sufrirán fuertes incrementos de costes de producción y distribución, otros se verán afectados por grandes cambios de demanda. Se incrementará la demanda de servicios públicos y disminuirán los recursos financieros públicos (Portland City Council, 2007).

Brisbane creó en 2006 una comisión (BCC Climate Change and Energy Taskforce) para que elaborara un informe que asesorase a la corporación sobre la preparación ante el cambio climático y el techo del petróleo. En 2007 la Climate Change and Energy Taskforce presentó el "Informe final. Una llamada a la acción", considerado como un primer intento de evaluación de vulnerabilidad. En el primer caso analiza los típicos impactos provocados por un clima que se hace cada vez más extremado (sequías, avenidas de agua, cambios en las precipitaciones, vientos huracanados, etc.). En el caso del petróleo afirma que su precio continuará subiendo y muestra una sociedad muy vulnerable por su alta dependencia del petróleo, debido al elevado transporte de mercancías (tiene una economía basada en la exportación, especialmente mediante la carretera; en el área metropolitana menos del 95% de las mercancías son transportadas por ferrocarril o barco) y al uso intensivo del coche, propio del modelo urbanístico de baja densidad (Brisbane City Council, 2007).

En mayo de 2008 la Asamblea de Representantes de Minnesota aprobó una resolución en la que se urge al gobernador a que "prepare un plan de respuesta y preparación para hacer frente a los retos del techo del petróleo". En ella se reflejan importantes elementos de vulnerabilidad: cercanía del techo; EE UU solo tiene el 2% de las reservas mundiales; el techo del petróleo provocará una crisis económica mundial; probablemente se haya llegado al techo del gas en Norteamérica y Minnesota utiliza cada vez más para producir la electricidad (http//:postcarboncities.net).

A finales de 2007 la Asamblea de Representantes de Connecticut presentó un estudio ("Peak Oil Production and the Implications to the State of Connecticut") al gobernador en el que se explica el techo del petróleo, se hace un diagnóstico de vulnerabilidad y se proponen medidas para reducirla. El estudio reconoce la proximidad del techo y, aunque no se pronuncia sobre la fecha, considera que el estado aún está a tiempo de disminuir la severidad de sus impactos. Estima que la economía sufrirá el mayor impacto desde la crisis de los años treinta y que los costes del consumo energético de las administraciones públicas del estado serán tan grandes que obligarán a eliminar servicios. Afirma que el transporte es especialmente

vulnerable porque las redes de transporte de masas solo existen en las ciudades, no cubren muchas áreas y son viejas. Por lo que concluye que "el estado no está preparado para hacer frente a los problemas". Por último, propone diversas medidas de mejora de la eficiencia energética (Legislative Leaders, 2007). En mayo de 2008 se aprobó una resolución por la que se aprueba la creación de un grupo de trabajo para "estudiar la carestía de energía y la sostenibilidad" (http//:postcarboncities.net).

A pesar de la política favorable al *lobby* del petróleo de Bush, numerosos organismos gubernamentales emitieron informes sobre el techo. El más relevante fue el de la Government Accountability Office (GAO), por la importancia del órgano que lo emite y porque los Departamentos de Energía e Interior se mostraran de acuerdo con él. Constata que la "producción mundial se ha mantenido cerca de su capacidad máxima en los años recientes para satisfacer la demanda creciente, presionando por ello los precios hacia arriba". Muestra una gran preocupación por la vulnerabilidad al techo de EE UU: "Aunque las consecuencias del techo se sentirán a escala planetaria, EE UU puede ser particularmente vulnerable, por ser el mayor consumidor de petróleo (25% del consumo mundial) y una de las naciones que dependen más del petróleo para el transporte". Concluye que "la perspectiva del techo del petróleo representa un problema de proporciones planetarias, cuyas consecuencias dependerán críticamente de nuestra preparación. Las consecuencias serán mucho más terribles si el techo ocurre pronto, sin aviso [...] porque no estarán disponibles grandes cantidades de otras energías, especialmente para el transporte". Y recomienda que la Secretaría de Estado asuma el liderazgo "para definir una estrategia para hacer frente al techo del petróleo" (GAO, 2007: 2, 6, 38, 39).

3.3. PLANES DE EMERGENCIA

En muchas estrategias se establecen actuaciones a corto y largo plazo. Las primeras suelen constituir esbozos de planes de emergencia. Además, es frecuente que los informes de vulnerabilidad recomienden la elaboración de planes de emergencia ante una escasez de petróleo repentina y severa. Lo hace el plan de vulnerabilidad y la estrategia de Portland: "Preparar planes de emergencia ante escaseces severas y rápidas" de petróleo y la estrategia de Brisbane: "Preparación para cambios, urgencias y sorpresas". El *Action Plan* de Oakland plantea que el puerto de la ciudad, que alberga también el aeropuerto, investigue los impactos en ambas infraestructuras antes fuertes subidas de precios o problemas de suministro de petróleo, dada la enorme importancia económica de las mismas. El *Action Plan Peak Oil* de Maribyrnong define la necesidad de crear "Planes de emergencia basados en

índices" y a esta acción le da una prioridad muy alta. Se trata de definir cotas de precios del petróleo, electricidad y gas, de desempleo, de tipos de interés, etc., a partir de las cuales se activan los planes de emergencia y se definen los órganos responsables de las actuaciones y los presupuestos asignados. El informe de Hong Kong recomienda que se creen planes de emergencia, y no solo para hacer frente a una aguda escasez de petróleo, sino también de alimentos (Chen *et al.*, 2007: 24). El citado informe de Bristol reconoce que el Reino Unido tiene un plan de emergencia sobre combustibles que obliga a la ciudad, pero que solo es una repuesta a un corte de suministro de corto plazo. Por lo que recomienda definir una estrategia de reducción de la dependencia del petróleo, estableciendo objetivos a corto y largo plazo. Los primeros determinan actuaciones para reducir el impacto de elevaciones rápidas del precio del petróleo, que el informe concreta en cada una de las áreas analizadas (The Bristol Partnership, 2009: 24, 25).

3.4. ESTRATEGIAS

Una gran parte de las estrategias están en fase de elaboración o de propuesta. Las estrategias y los elementos de estrategias existentes se centran en los sectores de la energía y el transporte, aunque también las hay que abordan los principales problemas económicos, sociales y ambientales que se están produciendo. En el primer caso, las estrategias suelen estar complementadas con planes ambientales elaborados con anterioridad a las mismas. Los enfoques de éstas varían entre dos polos. Uno de ellos mantiene los elementos principales del paradigma dominante (la cosmovisión que defiende el crecimiento económico ilimitado, que la especie humana es dueña de la naturaleza, la primacía de la competencia, etc.). El fin de la era de los combustibles fósiles no se plantea como una época dramática que va a suponer una severa y prolongada crisis económica y fuertes tensiones políticas y sociales, sino como una transición larga y no traumática para las sociedades que ya han iniciado la transición. Además, su carácter pionero les dará una ventaja competitiva. Las soluciones que plantean son muy simples: desarrollo de nuevas tecnologías y construcción de las infraestructuras adecuadas a las mismas en los sectores energético y de transporte. La elaboración de las estrategias es realizada básicamente por un reducido grupo de representantes dominado por los representantes patronales.

El otro polo está formado por estrategias que se inspiran en el paradigma de la sostenibilidad. Suelen tener la mayor parte de los rasgos siguientes: se hace un diagnóstico real sobre la gravedad de la fase que estamos iniciando y, por lo tanto, se trata de cambiar rápidamente para amortiguar los impactos; se

cuestiona el crecimiento ilimitado; se enfatiza la necesidad de fortalecer la comunidad; se promueve una economía descentralizada, fuertemente autosuficiente no solo en la producción, sino también en las finanzas (utilización del ahorro local para impulsar el desarrollo de una economía descentralizada, creación de dinero local, sistemas de trueque, etc.); se promueve la concienciación de las sociedades y su participación en la elaboración y aplicación de las estrategias. Suecia es un ejemplo del primer tipo y el movimiento de las *Transition Towns* lo es del segundo. Sin embargo, la realidad se asemeja más a un abanico de experiencias con rasgos intermedios entre los polos, en el que las sociedades grandes se suelen encontrar más cerca del primero y las pequeñas, del segundo. A continuación describiremos de forma sintética las estrategias más importantes.

SUECIA: La declaración del primer ministro en septiembre de 2005 establecía el objetivo de eliminar el uso de todos los combustibles fósiles para 2020. La estrategia de la "Comisión sobre la Independencia del Petróleo" de Suecia (presidida por el primer ministro) presentó la estrategia en junio de 2006 con el título "Haciendo Suecia una Sociedad LIBRE del PETRÓLEO". Se centra en la realización de una transición energética, la cual afecta a la eficiencia, a los combustibles empleados en el transporte, en la producción eléctrica y en la calefacción de edificios. La comisión estaba formada por ocho miembros: el primer ministro, dos expertos y el resto eran representantes de los empresarios y de los sindicatos. La comisión celebró cuatro audiciones sobre otros tantos temas que fueron televisadas, con gran éxito de audiencia. Además, el personal de apoyo a la comisión mantuvo numerosas entrevistas con personas interesadas y representantes de grupos sociales. La comisión sustituyó el objetivo inicial por el de lograr una reducción del 40/45% en 2020, que se desglosa en la mejora de la eficiencia en un 20%; la reducción en un 40-50% del uso del petróleo en el transporte; la eliminación del petróleo en la calefacción residencial y edificios comerciales, mediante una fuerte promoción de la eficiencia y del uso de residuos de madera; reducción del consumo industrial del petróleo en un 25-40%. Estos objetivos se alcanzarán mediante una fuerte intensificación de la eficiencia, del uso de energías renovables, manteniendo el actual nivel de consumo del gas natural y siguiendo el plan de desmantelamiento de centrales nucleares. En transporte se apuesta por la construcción de ferrocarriles, los biocombustibles locales y la mejora de la eficiencia de los vehículos. La causa de reducir el objetivo inicial es que la Comisión llegó a la conclusión de que el petróleo solo era un problema a largo plazo: "En nuestra opinión, los precios altos del petróleo en la actualidad no son debidos al comienzo de una escasez física, sino a una combinación de crecimiento de la demanda y disrupciones en forma de inestabilidad política y

de problemas en conexión con la extracción actual del petróleo. Sin embargo, a largo plazo la situación será probablemente diferente" (COI, 2006: 11 y 12). El que el Partido Socialdemócrata perdiera las elecciones poco después ha supuesto una importación masiva de agrocombustibles .

Región del sur de California: La Asociación de Gobernantes del Sur de California (SCAG) aprobó una estrategia [*Regional Comprehensive Plan* (RCP)] para hacer frente a la crisis energética en junio de 2008. Y es la consecuencia de la aceptación de la proximidad del techo del petróleo que quedó reflejada en el informe del Estado de la Región de 2006. El RCP es el resultado de tres años de elaboración altamente participativa. Intervinieron representantes políticos, gestores públicos, representantes de los empresarios, expertos, ecologistas, representantes de comunidades ciudadanas, etc. El capítulo más importante es el de energía. En él se afirma que "nos podemos preparar para los inevitables retos alentando la participación de la comunidad, invirtiendo en transporte público y revisando el uso del suelo, las normas urbanísticas y de edificación para optimizar el consumo de energía" (SCAG, 2008: 72). Pero los objetivos más relevantes son la reducción del consumo de combustibles fósiles en un 25% para 2020 desde el nivel de 1990 (el consumo de gasolina se ha incrementado un 20% en los diez últimos años) y que las energías renovables deben suministrar el 20% de la electricidad en 2010 (aportaban el 15% en 2007) y el 30% en 2020. En el caso del transporte se plantean los objetivos de reducir la distancia recorrida por los vehículos propulsados por combustibles fósiles al nivel de 1990 para 2020.

Queensland: Este estado australiano tiene numerosos precedentes que explican su decisión de admitir la cercanía del techo. Brisbane (que es su capital), Sunshine Coast y Hervey Bay son SEE. Una figura clave de esta dinámica es A. McNamara, por ser un destacado impulsor de la concienciación sobre el techo. En 2005 el gobierno del estado creó una *Oil Vulnerability Taskforce* y le encomendó su dirección. Después de que el informe hubiera estado retenido (por decisión del primer ministro), el Partido Laborista cambió el gobierno en 2007 y McNamara ocupó la cartera de Sostenibilidad, Cambio Climático e Innovación (creada ex profeso para él y que cuenta con 2.500 empleados), que tiene rango de viceprimer ministro con la misión de coordinar la labor del resto de los ministerios en respuesta al techo. En la primera reunión que celebró el gobierno (octubre de 2007) decidió hacer público el informe y encomendar a McNamara el diseño de un plan general de mitigación de los impactos. En 2008 le encomendó, además, un estudio sobre los impactos de

una severa escasez de petróleo. En el estudio de vulnerabilidad aparecen elementos de una estrategia. Descarta que los agrocombustibles tengan un papel importante y recomienda las siguientes medidas mitigadoras: reducción del consumo de combustibles fósiles, apoyar el desarrollo de combustibles, tecnologías y estrategias alternativos y prepararse para los cambios demográficos y regionales, ya que, a medida que el transporte cambie, lo harán los lugares en que viva y trabaje la gente. Critica la política de transporte centrada en la construcción de carreteras para atender el crecimiento en el uso del automóvil y del camión, incentivado por combustibles subsidiados. Pide que se "pare el proceso de empeoramiento" y que el gobierno se embarque en la promoción masiva del transporte colectivo. McNamara declaró en 2008 que está impulsando una economía descentralizada y autosuficiente y que los ministerios están diseñando estrategias a largo plazo para hacer frente a los problemas previsibles (Queensland` s Oil Vulnerability Taskforce, 2007; McNamara, 2008). Sin embargo, en 2009 perdió el escaño parlamentario y tuvo que dejar el gobierno, aunque lo retuvo Rachel Nolan (coautora del estudio de vulnerabilidad), que es la actual ministra de Transportes (www.energybulletin.net).

Brisbane: El Consejo Municipal creó en 2006 un grupo de trabajo (BCC Climate Change and Energy Taskforce) para hacer frente al cambio climático y al techo del petróleo. En 2007 presentó el *Final Report. A Call for Action.* Plantea 31 recomendaciones estructuradas bajo los epígrafes siguientes: liderazgo y trabajo compartido; toma de decisiones; comunicación y educación; planificación estratégica del territorio; transporte sostenible; preparación para cambios, emergencias y sorpresas; diversificación y conservación de los recursos naturales; e investigación. La primera recomendación establece los objetivos energéticos, los más importantes son reducir a cero las emisiones de GEI netas de CO_2 para 2050, estableciendo objetivos para años intermedios, y reducir al menos en un 50% el consumo de petróleo para 2026. El resto de las recomendaciones propuestas son: liderazgo activo y concertado a todos los niveles; trabajar para educar a la comunidad acerca de las amenazas, pero también sobre las acciones que la gente puede emprender hacia la sostenibilidad; planificar las infraestructuras de transporte de forma que se potencie el transporte colectivo y los desplazamientos no motorizados. Para materializar estas políticas se propone nombrar a un responsable (dotado de adecuados recursos financieros y humanos) para aplicar las recomendaciones y que las áreas de gobierno empiecen a trabajar en ellas, sin esperar a realizar nuevos análisis. El Consejo Municipal aceptó la propuesta de estrategia (Brisbane City Council, 2007).

PORTLAND: La estrategia de la *City of Portland Peak Oil Task Force* (Portland City Council, 2007), aprobada en marzo de 2007, se ha convertido en un referente para otras sociedades por su calidad y por la importancia de la ciudad que la adopta. Se plantean tres escenarios posibles: transición a largo plazo, impactos fuertes del petróleo y desintegración. Descarta el segundo, que supone un largo proceso de agotamiento del petróleo puntuado con rápidos y fuertes incrementos del precio y escaseces, y también el tercero, en el que los impactos son tan severos que empiezan a desintegrar la sociedad. El primero supone una larga transición sin problemas graves de suministros, ni fuertes elevaciones de precios, porque supone que EE UU reducirá a la mitad el consumo de petróleo en los veinte años posteriores al techo y por la actuación de la propia ciudad. A pesar de ello prevé una alta volatilidad del precio del petróleo. La primera de sus diez propuestas es la reducción del consumo de combustibles fósiles en un 50% para 2025, lo cual supone una disminución per cápita de dos tercios, teniendo en cuenta el aumento de población que se prevé. El resto constituye en su mayor parte políticas para conseguir el objetivo general, pero carecen de objetivos medibles: educar a la ciudadanía acerca del techo del petróleo y fortalecer la comunidad y las soluciones basadas en la comunidad; conseguir la participación del gobierno, de las empresas y de los líderes de la comunidad para iniciar la planificación y el cambio de políticas; apoyar una ordenación del territorio que reduzca las necesidades de transporte; promover los desplazamientos a pie y proveer de un acceso fácil a los servicios y a los modos de transporte colectivo; impulsar modos de transporte eficientes y movidos con energías renovables; definir programas de expansión de edificios eficientes; preservar la tierra cultivable y expandir la producción y el procesamiento local de alimentos; identificar las oportunidades de crear empresas sostenibles y promoverlas; preparar planes de emergencia energética para casos de carestías rápidas y severas; rediseñar una red de seguridad para proteger a la población vulnerable y marginada.

MARIBYRNONG: Este municipio australiano aprobó en abril de 2008 dos documentos: *Peak Oil Policy* y *Peak Oil Action Plan*. El primero establece los objetivos y el segundo define una sofisticada y excelente estrategia para conseguirlos. Pretende reducir el consumo de petróleo en un 50% para 2025 (lo cual requiere un ritmo de reducción anual superior al 3%) e incrementar la compra verde al ritmo anual del 1,5%. Contempla los tres escenarios de Portland, pero no descarta ninguno: el de transición a largo plazo (asume que la reducción del suministro de petróleo será gradual: un 3% anual para Australia), el de crisis de suministro (prevé interrupciones periódicas de suministro) y el de desintegración

(supone un agotamiento del petróleo más rápido que el esperado, por lo que se producirá el colapso de algunos servicios que dependen del petróleo). Define dos tipos de acciones: las *Recautionary Actions* buscan evitar los impactos más graves del techo y las *Crisis Management Actions* pretenden hacer frente a colapsos de servicios esenciales. En el segundo plan se definen planes de emergencia que deberán ser activados según los escenarios previstos. Por ejemplo, en el caso del escenario de desintegración, un plan de emergencia es establecer un sistema de moneda local. Se establecen indicadores que cuando alcancen un cierto umbral será necesario activar los planes de emergencia previstos. En este plan se establecen las actuaciones que deben ponerse en marcha, primero en todos los escenarios y después para cada uno de ellos. Para cada acción se establece el órgano que debe aplicarlo, los recursos que tendrá disponibles, el momento de la actuación y el grado de prioridad (Maribyrnong City Council, 2008).

OAKLAND: La resolución aprobada en 2006 establece el objetivo de independencia de los combustibles fósiles para 2020, de acuerdo con el objetivo general primario de Suecia, experiencia que esta ciudad toma como referente. Después del largo proceso en la elaboración de una estrategia, ésta fue aprobada en febrero de 2008 con el nombre *Oil Independent Oakland Action Plan*. El informe se centra especialmente en el transporte, porque consume el 40% de la energía de la ciudad y el 97% del petróleo. Propone adoptar el Protocolo de Agotamiento del Petróleo, lo que supone una reducción anual del consumo de petróleo del 3%, lo que provocará una reducción del consumo de un 30% en el periodo 2008-2020. Para ello plantea la definición de planes para favorecer los desplazamientos peatonales y en bici y para dar un fuerte impulso al transporte colectivo mediante, entre otras políticas, una fuerte inversión en infraestructuras. Oakland pretende, también, lograr un 30% de producción local de alimentos para 2030, partiendo de una nula producción. Propone la creación de *Urban Villages*, es decir, descentralizar la ciudad en distritos de alta densidad y con gran nivel de autosuficiencia, donde la gente pueda vivir, trabajar, tener servicios comerciales, educación básica, espacios sociales y culturales, etc., y generar su propia energía. Otras recomendaciones son: definir planes de emergencia; establecer un grupo que dirija las actividades de independencia energética; poner impuestos al uso de combustibles fósiles; promover el consumo sostenible; realizar una campaña masiva de educación ciudadana sobre la crisis energética; etc. (Oakland City Council, 2008).

TOTNES : TT Totnes presentó en 2010 su estrategia [*Totnes 2030, an EnergyDescent Action Plan* (EDAP)], que abarca la localidad y el *district* (cinco "parroquias" que

con Totnes alcanzan 24.000 habitantes), sobre la que venía trabajando desde 2008. Y en ese año presentó un borrador que el Ayuntamiento aceptó como suyo (Hopkins, 2008). El EDAP considera central el concepto de resiliencia. De los 21 indicadores de resiliencia de una comunidad, los 10 primeros son: el liderazgo es representativo de la edad, el género y la composición cultural de la comunidad; el liderazgo elegido es visionario, comparte el poder y construye consensos; los miembros de la comunidad participan en decisiones comunitarias significativas; la comunidad tiene un sentido de orgullo; la gente se siente optimista acerca del futuro de la comunidad; existe un espíritu de asistencia mutua y cooperación en la comunidad; la gente se siente integrada en la comunidad; la comunidad es autosuficiente y busca en sí misma y en sus recursos para afrontar los retos principales; hay un fuerte apoyo a la educación a todos los niveles; hay variedad de organizaciones comunitarias y de desarrollo de empresas en la comunidad. Por último, algunos de los objetivos principales son: energía (reducción del 50% en el consumo, 50% de aportación de las energías renovables, creación de un compañía local de suministro energético); transporte (reducción del consumo energético en un 50%; reducción de emisiones de CO_2 del 80%); construcción (a partir de 2014 todos los edificios nuevos no emitirán CO_2 y estarán hechos con materiales locales); economía (el 80% del ahorro local se invertirá en la zona); etc. Pero TT Totnes viene aplicando ya muchos elementos de su EDAP. En 2007 puso en marcha una experiencia piloto de moneda local (la libra de Totnes) que tiene un amplio uso local. También la ha creado el municipio galés de Lewes (*Lewes pound*) y la están preparando otras dos poblaciones galesas y Brixton, un distrito de Londres. Se ha creado la sociedad de inversión Totnes Transitional Trust (TTT), con los objetivos de promocionar la eficiencia energética y las energías renovables en la comunidad, que ha creado la Totnes Renewable Energy Company, que ya ha instalado placas térmicas, un parque eólico comunitario, etc. (Sharp, 2008; http://totnes.transitionnetwork.org).

Cabildo de la Isla de La Palma: Por último, en España destaca por su soledad e importancia la resolución aprobada por el Cabildo de la Isla de la Palma en abril de 2006, en la que se augura que el techo del petróleo se alcanzará "a corto plazo". Pretende que la isla se transforme en veinte años, promoviendo las energías renovables, la eficiencia energética, el transporte colectivo, el ahorro de agua, etc., para lo cual decidió elaborar un "Proyecto Global" que garantice una "Isla sostenible". Esta actuación está motivada por el problema añadido de depender totalmente del petróleo y ser una isla. Pretende que la electricidad sea 100% renovable para 2013 (www.crisis-energetica.org).

5. REFLEXIÓN FINAL

La importancia de los fenómenos descritos es enorme en el momento actual, porque las SEE constituyen una guía para el resto de las sociedades que tiene varios planos: el ejemplo de numerosas sociedades que contienen en total muchas decenas de millones de personas; su rapidísimo ritmo de crecimiento; su visión de la necesidad de producir transformaciones muy fuertes y rápidas no solo en el ámbito energético, sino también en el transporte y en el productivo; el ser un fascinante laboratorio en el que se están poniendo en práctica una gran variedad de enfoques y políticas; y un desconocido hasta ahora grado de coherencia entre lo que proponen y hacen.

Las SEE no surgen por casualidad, son el resultado de factores intrínsecos y del contexto. Nacen en sociedades que tienen una tradición de planes ambientales, de políticas de transporte y energéticas avanzadas, de lucha contra el cambio climático, etc. La constatación de la proximidad de la crisis energética supone un salto cualitativo, porque se percibe como una amenaza muy próxima y grave, y por ello impulsa a actuar con urgencia y a emprender actuaciones radicales. Además, nacen y se consolidan en EE UU y Reino Unido. Los dos países han sobrepasado los techos del petróleo y del gas natural. Existe, por tanto, una amplia percepción social de la existencia del problema. Esta percepción impulsa la creación de grupos activistas y niveles de estudio y reflexión que son desconocidos en la mayor parte de los países. Los movimientos dan un salto cualitativo cuando se crean organizaciones, como el PCI y la TN, porque forman a los activistas, ofreciéndoles apoyo (materiales para la concienciación, alternativas, información, oradores, etc.) y coordinación. Además, el hecho de que esto ocurra en países angloparlantes da una visibilidad enorme a estos fenómenos y facilita, primero, su rápida extensión a otros con la misma lengua. Otro factor facilitador importante es que ambos movimientos cada vez colaboran más y comparten una visión básica común de las transformaciones que se deben realizar: crear sociedades altamente participativas y cohesionadas, economías con un alto nivel de autosuficiencia, de descentralización y de sostenibilidad, aunque el énfasis en algunos aspectos pueda ser diferente.

CUARTA PARTE

ECONOMÍA CIRCULAR

CAPÍTULO 16

PRINCIPIOS PARA UNA ECONOMÍA CIRCULAR, ESCASEZ DE MATERIALES, CONCEPTOS Y LAS POLÍTICAS DE LA UNIÓN EUROPEA

Además de a la escasez geológica de combustibles fósiles, nos enfrentamos a problemas de abastecimiento de múltiples materiales, sobre todo de metales, agravados porque su extracción también tiene un techo y porque ambas escaseces se retroalimentan. Pero el estudio de los minerales es más complejo que el de la energía fósil, puesto que son muy numerosos y la información es más escasa. En este capítulo definimos las bases de una economía circular y la política de la UE sobre la materia, para después pasar a analizar grupos específicos de materiales, dando a los metales un tratamiento más amplio por su importancia.

1. CONCEPTOS Y PRINCIPIOS PARA UNA ECONOMÍA CIRCULAR

A pesar de la importancia de definir con precisión el concepto de recurso natural, no existe consenso sobre el mismo. La definición más amplia comprende todas las funciones que nos prové el planeta: la función de recurso (producción de recursos naturales renovables y no renovables); de sumidero (absorción de los flujos residuales); cíclica (los ciclos de materiales planetarios, la reproducción de biomasa); de información (los recursos genéticos, modelos de sistemas); recreativa (estética, descanso, etc.). Pero, por lo regular, se utiliza una concepción más reducida: la de los recursos mercantiles. Y este criterio genera la marginación de las otras funciones.

La sostenibilidad obliga a reciclar los materiales que utilizamos, eliminando el concepto de residuo y convirtiendo así todos los materiales en nutrientes: nutrientes bióticos y nutrientes técnicos. Los materiales bióticos son reciclados en la biosfera; este proceso constituye el metabolismo biológico. Pero debemos reciclar los materiales de la corteza terrestre, usándolos como nutrientes técnicos, generando así el metabolismo técnico (McDonough y Braungart, 2002: 104).

Los recursos naturales se clasifican en cuatro grupos:

- Recursos renovables que no son agotables (el viento, la luz solar, el océano y el aire).
- Recursos renovables que son agotables (biodiversidad, agua dulce, etc.).
- Recursos no renovables que no son agotables, tales como metales y materiales de construcción, porque pueden ser reciclados indefinidamente.
- Recursos no renovables que son agotables. Éste es el caso de los combustibles fósiles y de los materiales radioactivos (Moll *et al.*, 2003).

Para poder construir una economía circular es necesario que los usos de cada tipo de recurso cumplan con unos requisitos que garanticen la circularidad:

- Los recursos renovables agotables deben tener unas tasas de recogida iguales a las de reproducción y las tasas de emisión de residuos deben ser iguales a la capacidad de asimilación de los ecosistemas.
- Los recursos no renovables que no son agotables se deben reciclar o sustituirlos por renovables cuando sea posible. El "Plan Básico para una Sociedad basada en el Reciclado" de Japón declara que "para asegurar los ciclos de materiales en la naturaleza el Estado restringirá el uso de recursos naturales tales como los combustibles fósiles y minerales que son imposibles de regenerar en la naturaleza y promoverá la utilización de recursos renovables y biomasa" (Gobierno japonés, 2002: 23).
- No existe un uso sostenible de los recursos no renovables que son agotables, por lo que su uso debe tender a cero lo más rápidamente posible. Pero la agotabilidad depende en algunos casos del uso que tengan. Así, se puede lograr un uso sostenible de los combustibles fósiles utilizándolos para producir materiales reciclables.

Tal y como hemos visto en el capítulo 6, para poder construir una economía circular es necesario que las sociedades imiten el comportamiento de los ecosistemas, convirtiéndolos en principios guía. Lo cual determina: implantar una reforma fiscal

ecológica; cambiar las tecnologías de producción; cambiar los diseños de productos; descentralizar y reorganizar el sistema productivo; etc. Además, es necesario fortalecer a las empresas encargadas de transformar los residuos en materias primas. La naturaleza cuenta con dos tipos de especies para realizar el metabolismo biológico: las necróforas y las descomponedoras. Las especies necróforas se alimentan de animales muertos o carroña y descomponen o reducen su tamaño, facilitando así la labor de las especies descomponedoras, que consumen plantas muertas y tejidos animales convirtiéndolos en nutrientes. Las especies necróforas y descomponedoras se clasifican en especialistas y en generalistas, según vivan de un solo tipo de alimento o de múltiples. La economía humana cuenta con los mismos tipos de empresas. Las empresas necróforas recolectan residuos y aparatos, que desmantelan, clasifican los residuos y los venden a las empresas descomponedoras, las cuales transforman los residuos en materias primas. Hay empresas que realizan actividades necróforas y descomponedoras, algo que no ocurre en la naturaleza (Geng y Coté, 2002). Estas empresas han sido consideradas marginales, su desarrollo ha sido precario y su nivel tecnológico bajo. Y, aunque este panorama está cambiando, aún estamos lejos de que tengan el mismo estatus que el resto.

Se trataría de mantener el estatus "de los recursos como recursos", lo que supone sustituir el concepto tradicional de "de la cuna a la tumba" por el de "de la cuna a la cuna", el cual es una imitación de la naturaleza: "el Diseño de la Cuna a la Cuna obtiene su inspiración del abundante mundo natural, cuya exitosa interdependencia descansa en tres principios: *residuo igual a alimento, uso de la renta solar y desarrollar diversidad*" (Braungart y Bollinger, 2004). Además, es necesario que los sistemas tecnológicos tengan un alto grado de redundancia. Es decir, que existan múltiples versiones de una tecnología básica para que se apliquen a recursos que tienen ciertas variaciones cualitativas y así poder utilizarlos de la forma más eficiente. En realidad la sostenibilidad es local; solo a escalas territoriales pequeñas se pueden organizar sistemas productivos que imiten a los ecosistemas naturales (McDonough y Braungart, 2002). Pero no todos los recursos tienen igual importancia, ya que alrededor de cuarenta minerales son indispensables para que funcione la sociedad actual, por lo que se les llama estratégicos.

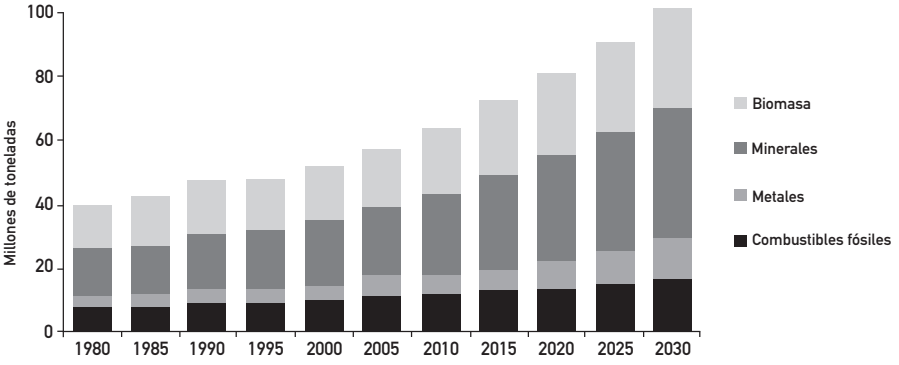
2. ASPECTOS GENERALES DE LOS PROBLEMAS DE ABASTECIMIENTO DE MATERIALES

El consumo de la mayoría de los minerales ha venido creciendo mucho en el periodo 2002-2008, especialmente el de los estratégicos (los indispensables para el funcionamiento de la economía actual). Un informe de varios organismos (Wuppertal

Institute *et al.*, 2008) prevé que el ritmo de aumento de la demanda en el periodo 2002-2020 sea mayor que el del periodo 1980-2002. Se espera que en la UE-25 los consumos de minerales se incrementen en torno al 20% en el periodo 2000-2020. El gráfico 1 muestra el crecimiento pasado y la tendencia futura en un escenario de abundancia de recursos: biomasa, metales, otros materiales y combustibles fósiles. Pero este escenario no es real. El agotamiento de materiales constituye el factor crítico por excelencia, pero antes se producen escaseces debidas a la reducción de flujo, por haber alcanzado el techo y porque las potencias que monopolizan gran parte de las reservas priorizan su autoabastecimiento. Además, otros factores agravan la situación en ciertos casos: no se conocen sustitutos; gran dificultad técnica o económica de reciclado; evitar impactos ambientales; etc.

GRÁFICO 1

PROPORCIONES DE LAS EXTRACCIONES DE MATERIALES, 1980-2030



FUENTE: GILJUM (2010), EUROPEAN RESOURCE CONSUMPTION AND RESOURCE EFFICIENCY IN GLOBAL CONTEXT, WWW.SERI.AT

En la OCDE preocupa su propia escasez de reservas (especialmente en Japón y Corea del Sur, pero también muy alta en la UE) y la escalada del consumo de recursos de los países emergentes. La UE reconoce una especial dependencia de metales, ya que solo extrae el 3% del total mundial. Pero, a pesar de que tienen solo el 15% de la población mundial, consumen el 56% del petróleo, el 60% del gas y alrededor del 50% de las materias primas no energéticas. Y no se tiene en cuenta que buena parte de los recursos importados por China se utilizan para producir bienes destinados a la OCDE. La escasez creciente de recursos provoca la competencia por el acceso a los mismos, sobre todo entre los países OCDE y los emergentes. Los primeros sufren limitaciones crecientes en su acceso a recursos. Ello es debido a que las potencias emergentes concentran muchas reservas de recursos estratégicos y a que llegan a acuerdos de suministro a largo plazo con

otros países No-OCDE que poseen otros materiales. Lo cual rompe el monopolio histórico que ha tenido la OCDE (Ad-hoc Working Group, 2010: 20).

3. LAS POLÍTICAS DE MATERIALES EN LA UE

La UE no cree que se produzca una escasez física de recursos: "Desde una perspectiva geológica general, no hay indicios de una carestía física inminente" (COM(2008)669 final). Pero, aunque esta afirmación parece tranquilizadora, no lo es, porque el adjetivo "inminente" es muy restrictivo. Sin embargo, el resultado es que la UE carece de una estrategia de creación de una economía circular, aunque en los últimos años haya elaborado algunos elementos de la misma. La "Estrategia temática sobre el uso sostenible de los recursos naturales" (COM(2005) 670 final) es una guía metodológica de elaboración de esa estrategia. El "Plan de Acción sobre Consumo y Producción Sostenibles y una Política Industrial Sostenible" (COM(2008), 397 final) pretende ser un marco integrado de diversas políticas mediante propuestas de extensión de la directiva sobre diseño ecológico; revisión del Reglamento sobre la etiqueta ecológica; contratación pública ecológica; etc. La "Iniciativa sobre Materias primas" (COM(2008)699 final) define "tres pilares" de una estrategia: "Acceso a las materias primas en los mercados mundiales sin condiciones distorsionadas", "Impulsar un suministro sostenible de materias primas de origen europeo" y "Reducir el consumo de la UE de materias primas primarias". Y se proponen actuaciones generales (directivas, provisión de fondos para la investigación, cambiar los reglamentos, etc.). Pero carece de objetivos generales medibles y de actuaciones adecuadas para lograrlos. Solo la directiva de residuos tiene elementos de una estrategia y marca los siguientes objetivos para antes de 2020: reutilizar y reciclar, como mínimo, el 50% del peso de los residuos domésticos de, al menos, papel, metales, plásticos y vidrio y "posiblemente" de otros orígenes en la medida que sean similares a los residuos domésticos; y reutilizar, reciclar y otros tipos de valorización: sustitución de material de relleno, de al menos un 70% de los residuos no peligrosos de la construcción y de las demoliciones (Parlamento y Consejo Europeo, 2008: 13).

Además, la UE tiene problemas conceptuales que le dificultan aún más la elaboración de una estrategia de economía circular. La Comisión (2002*c*) define los recursos naturales como "aquellas partes de las dotaciones minerales y biológicas de la Tierra de las cuales la sociedad obtiene valor". Pero el campo de la valoración económica es muy difuso. Por ejemplo, no está nada clara la

diferenciación entre subproductos (recursos) y residuos. Si se le considera un residuo, se le aplica la legislación ambiental, que tiene el objetivo de minimizar los impactos ambientales de su tratamiento final, a pesar de que sea reciclable. Si se le considera un recurso, no se le aplica la legislación ambiental y su utilización en ulteriores procesos productivos no se verá obstaculizada. El problema es determinar en qué circunstancias un material es una u otra cosa. Ha habido tantos conflictos sobre este asunto que el Tribunal de Justicia de la UE ha dictado jurisprudencia sobre la materia, aunque no vemos que sea clarificadora: residuo es "cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse" (Parlamento y Consejo Europeo, 2008: 9 y 10). Así que la conservación o eliminación de un recurso secundario depende de la voluntad de las empresas, la cual depende a su vez del mercado. Y los precios pueden hacer que un residuo se convierta en subproducto [que es ¡"un residuo de producción que no es residuo"! (Comisión Europea, 2007)] o que siga siendo un residuo. Así que no se puede construir una estrategia sólida de sostenibilidad sobre bases tan movibles.

Normalmente las políticas ambientales establecen tres comportamientos que son los más adecuados para una gestión sostenible de los recursos: prevención o reducción, reutilización y reciclado, siempre que los dos últimos cumplan con ciertos requisitos, como veremos a continuación. Las tres actividades no son excluyentes, sino complementarias. Por muy alta que sea la prevención siempre se generan residuos y no siempre es posible prescindir del reciclado en aras de la reutilización. Además, a menudo los residuos son incinerados o depositados. Así que, desde el punto de vista de la sostenibilidad, se produce una jerarquía de tratamientos que van desde la prevención al depósito, siendo insostenibles éste y la incineración porque no cierran los flujos de los materiales. Pero la UE se plegó a los intereses empresariales al crear la categoría de valorización. La directiva marco sobre residuos (*Waste Framework*) establece la jerarquía de prevención, reutilización, reciclado, otros tipos de valorización y eliminación. Así que la valorización engloba la reutilización, el reciclado y la incineración al definirlo como "cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía general". Por último, la directiva sustituye el concepto tradicional de deposición por el de eliminación, entendiendo por ella "cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energías". La directiva establece

unos coeficientes mínimos de rendimiento energético de la incineración que determinan cuándo se trata de valorización o de eliminación con recuperación energética (Parlamento y Consejo Europeo, 2008: 10 y 24).

La directiva precisa lo que la UE entiende por las actuaciones principales citadas. Por prevención entiende "medidas adoptadas antes de que una sustancia, material o producto se haya convertido en residuo para reducir: a) la cantidad de residuo, incluso mediante la reutilización de los productos o el alargamiento de la vida útil de los productos; b) los impactos sobre el ambiente y la salud humana de la generación de residuos o c) el contenido de sustancias nocivas en materiales y productos" (Parlamento y Consejo Europeo, 2008: 10).

La reutilización se define como "cualquier operación mediante la cual productos o componentes que no sean residuos se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron concebidos". Por reciclado entiende "toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad" (Parlamento y Consejo Europeo, 2008: 10). Esta definición es muy poco exigente, porque contiene comportamientos que no contribuyen a una economía circular, como un reciclado en el que los materiales se degradan, por lo que solo se les puede dedicar a usos cada vez menos *nobles* (exigentes) (McDonough y Braungart, 2002).

Por otro lado, el proceso de mundialización de la economía está dificultando de forma creciente el cierre de los flujos de materiales. El comercio ha venido creciendo por encima del producto económico mundial y, aparte del comercio tradicional de bienes, en las últimas décadas se ha producido un aumento espectacular del de residuos de los países OCDE a los No-OCDE. Este comercio se incrementó en un 230% entre los periodos 1970-1974 y 1995-1997. La mayor parte en peso de este comercio son e-residuos y residuos plásticos.

4. ANÁLISIS DE LOS METALES CRÍTICOS

Los metales constituyen "un área clave en relación con el desafío de la sostenibilidad en el siglo XXI" (PNUMA, 2010). Y entre ellos destacan los críticos: metales indispensables para las tecnologías fundamentales y que son escasos. El PNUMA ha creado el Global Metal Flows Group con el fin de presentar seis informes: "Metal Stocks in Society", "Recycling Rats of Metals", "Environmental Impact of Metals", "Geological Metal Stocks", "Future Demand Scenarios for Metals"

y "Critical Metals and Metal Policy Options". En 2010 publicó solo los tres primeros. Los metales se clasifican en cinco grupos: 9 metales ferrosos (hierro, manganeso, vanadio, níquel, etc.); 8 metales no ferrosos (aluminio, cobalto, cobre, plomo, etc.); 8 metales preciosos (oro, plata, platino, paladio, etc.); 28 metales especiales (antimonio, cadmio, litio, indio, teluro, selenio, tungsteno, etc.); y la familia de los aceros aleados (acero y acero inoxidable).

4.1. ESCASEZ GEOLÓGICA

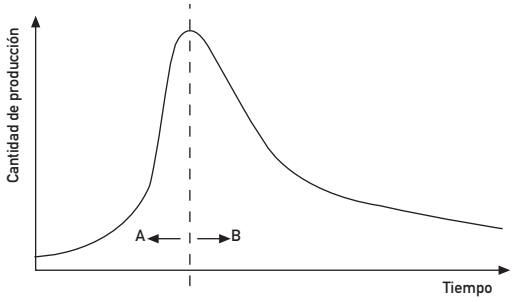
Los ritmos de aumento del consumo de cinco metales estratégicos (cobre, zinc, níquel, estaño y platino) son particularmente intensos. Van desde un 1,8% anual para el estaño hasta un 4,9% del platino. El resto supera el ratio anual del 3%. Constituyen una amenaza de agotamiento, pero éste viene determinado, además, por el grado de reciclado y de sustituibilidad y por la posibilidad de un aumento significativo de las reservas actuales. Veremos que muchos metales reciclan poco o nada y que otros no tienen sustitutos. La escasez de los principales metales provocó que los precios medios se triplicaran en el periodo 2002-2008. La apreciación del cobre y del mineral de hierro superó a la del petróleo. También se apreciaron mucho el aluminio, cinc y plomo. La crisis de 2008-2009 provocó una fuerte reducción en el consumo de los materiales y de los precios, pero han vuelto a la senda alcista con la recuperación, porque se espera que "la demanda supere a la oferta" (COM(2008) 699).

Pero el panorama se ve agravado porque los minerales no energéticos tienen techos de extracción, al igual que los combustibles fósiles. Aunque la forma de las curvas de extracción difieren un poco de las energéticas. El gráfico 2 muestra la forma de una curva simplificada. La diferencia con la curva teórica energética es que el techo se produce antes de que se consuma la mitad del recurso. La primera parte de la curva representa la extracción de los yacimientos más ricos y accesibles. Cuando éstos se van agotando es necesario explotar yacimientos crecientemente pobres y de difícil acceso, lo cual obliga a utilizar enormes cantidades de energía, que solo es posible en caso de energía barata. Debido a que la energía ha sido muy barata en la mayor parte del periodo de la posguerra mundial, muchos avisos de escasez de materiales no se han cumplido. Pero ya estamos en el fin de la era de los combustibles fósiles. Y la energía cara genera un proceso de retroalimentación negativa que reduce las reservas económicamente explotables de ambos recursos. Los consumos de energía se disparan con el aumento de la pobreza de los yacimientos de materiales, lo que reduce las reservas explotables por el aumento de los costes de producción de materiales y de su transporte. Lo mismo ocurre con los recursos energéticos cuando los metales se encarecen,

siendo además el sector energético el mayor consumidor de metales. Los más utilizados son el acero (y sus aleaciones) y el cobre (Diederen, 2010: 51-55).

GRÁFICO 2

TÍPICA CURVA SIMPLIFICADA DE EXTRACCIÓN DE METALES

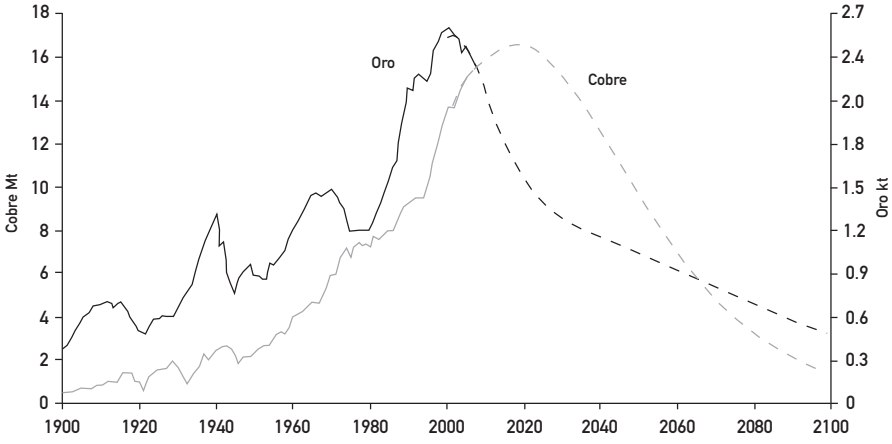


FUENTE: DIEDEREN (2010: 51).

A modo de ejemplo mostramos las curvas de agotamiento del oro (techo en 2000) y del cobre (techo previsible antes de 2020). U. Bardi y M. Pagani han analizado las estadísticas del *United States Geological Survey* (USGS) y han encontrado que los siguientes metales alcanzaron sus techos de extracciones entre 1962 y 2002: mercurio, teluro, plomo, cadmio, talio, selenio, zirconio, molibdeno, renio y galio. El mercurio lo alcanzó en 1962, mucho antes de que se prohibiera (Bardi y Pagani, 2007).

GRÁFICO 3

CURVAS DE EXTRACCIÓN REALIZADAS Y PREVISTAS DEL COBRE Y DEL ORO

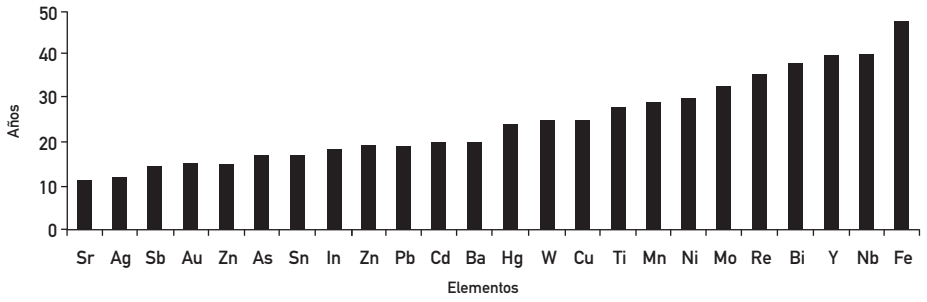


FUENTE: LAHERRERE (2010), WWW.THEOILDRUM.COM/NODE/6307

Diederen (2009) considera que, sin tener en cuenta el factor energético y estimando un aumento anual del consumo del 2%, los materiales del gráfico 4 se agotarán entre unos 10 y 50 años. Llama la atención que algunos de los metales más abundantes, como el zinc, el cobre y sobre todo el hierro, aparezcan entre los que se van a agotar en las próximas décadas. Pero los consumos de los mismos son enormes. El techo de la mayor parte de los metales se alcanzará probablemente a mediados de esta década si no se avanza mucho hacia una economía circular. Esta escasez puede impedir el uso masivo de las energías renovables, necesario para sustituir a la energía fósil, porque afecta a metales esenciales para ellas, como los del grupo del platino, la mayoría de las tierras raras y el galio, teluro, indio, etc. (Diereden, 2009; 2010: 54, 55).

GRÁFICO 4

AÑOS QUE QUEDAN DE EXTRACCIÓN DE MATERIALES AL RITMO ANUAL DE CONSUMO DEL 2%

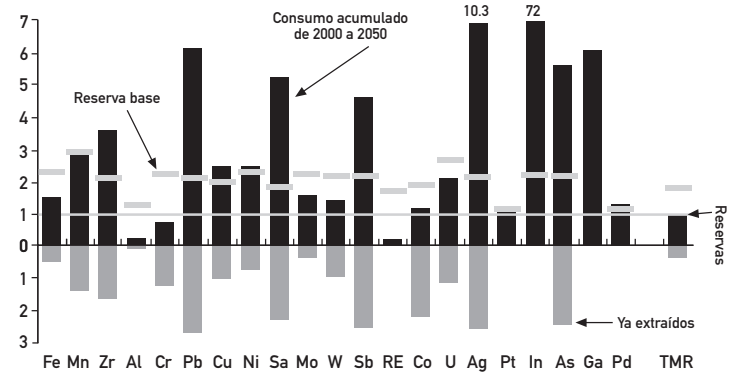


FUENTE: DIEDEREN (2009), MINERALS SCARCITY: A CALL FOR MANAGED AUSTERITY.

Pero vamos a ver que otros no prevén tal grado de escasez, quizás por no contar con el factor energía. K. Halada (2007) ha clasificado los metales en tres grupos por orden de escasez, tal como se muestra en el gráfico 5. Las barras por debajo del eje horizontal indican los minerales metálicos extraídos y las barras por encima, los consumos previsibles para 2050. Los trazos cortos horizontales indican las reservas estimadas para cada metal. El hierro (Fe), el molibdeno (Mo), el wolframio (W), el cobalto (Co), etc., no habrían agotado sus reservas para 2050. El consumo de níquel (Ni), litio (Li), indio (In) y galio (Ga) habrían superado varias veces las reservas conocidas actuales. Pero el autor no considera que el Ga sea escaso, porque prevé un fuerte aumento de las reservas en el futuro. El consumo de cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn), oro (Au), plata (Ag) y estroncio (Sn) superaría con mucho las reservas.

GRÁFICO 5

NECESIDADES DE RESERVAS DE METALES PARA 2050



FUENTE: HALADA (2007).

4.2. OTROS FACTORES DE CRITICIDAD

Siendo la escasez geológica de los recursos el factor más importante al evaluar el grado de criticidad de un recurso, hay otros factores que lo pueden agravar mucho: alto crecimiento del consumo; gran importancia económica; concentración de las reservas en muy pocos países y políticas restrictivas de exportación; y bajo nivel de reciclado. Debido a los crecientes problemas de abastecimiento de metales se están impulsando numerosos estudios para evaluar la gravedad general del problema e identificar los metales críticos.

Las reservas de muchos metales se encuentran concentradas en unos pocos países, lo cual está ocasionando restricciones en las importaciones a la OCDE. China es líder mundial en el suministro de 16 metales: tierras raras (17 metales que se denominan así porque se encuentran en concentraciones menores a 0,01%) con 97%, tungsteno (81%), indio (50%) y estaño (45%). Y tiene más del 75% de las reservas de germanio y de tungsteno, el 62% de indio, el 38% de tierras raras y tiene una posición dominante en antimonio, galio y magnesio. Brasil extrae el 90% del niobio y controla la oferta de tantalio junto con la República Democrática del Congo, quien tiene además una posición dominante en cobalto. Sudáfrica extrae el 79% del rodio y del platino y el 42% del cromo (Ad-hoc Working Group, 2010: 34; Diederen, 2010: 55).

La UE identificó en 2008 restricciones en las importaciones de más de 450 materiales, sobre todo por parte de China, Rusia, Ucrania, Argentina, Sudáfrica y la India. En el caso de metales no férreos y preciosos han provocado una reducción de

suministro del 40%, mientras que las exportaciones de materiales secundarios (chatarras) se han incrementado en un 125% en los últimos años y suelen ser ilegales en virtud del Protocolo de Basilea. La UE, EE UU y México demandaron a China ante la OMC en 2009 por restringir las exportaciones de fósforo amarillo, bauxita, espato flúor, coque, magnesio, manganeso, carburo de silicio, zinc, etc. Pero en 2010 China decidió reducir drásticamente la exportación de tierras raras. En los últimos años satisfizo el 97% de la demanda, a pesar de que sus reservas son el 38%, debido a los bajos precios de su mano de obra y a que no se tienen en cuenta los fuertes impactos ambientales de esta minería. La reducción de las exportaciones se debió a que el gobierno chino se dio cuenta del rápido agotamientos de las reservas, por lo que quería garantizar su autoabastecimiento. La reducción de exportaciones dio lugar a que los precios se multiplicaran por seis y a que EE UU y Australia reanudaran la minería. Pero los problemas de suministro no solo afectan a los materiales primarios, sino también a los secundarios (chatarras), cuyo uso en la UE ha pasado del 40% al 60% del total en las últimas décadas (Ad-hoc Working Group, 2010: 20; yxiao@bloomberg.net).

TABLA 1

METALES CRÍTICOS

TIEMPO	METAL
Corto plazo (en los próximos 5 años)	
+ crecimiento rápido de la demanda	Teluro
+ riesgos serios de suministro	Indio
+ restricciones moderadas al reciclar	Galio
Plazo medio (hasta 2010)	
+ crecimiento rápido de la demanda	Tierras raras
y	Litio
+ restricciones serias al reciclar	Tantalio
o	Paladio
+ riesgo moderado de suministro	Platino
+ restricciones moderadas al reciclar	Rutenio
Largo plazo (hasta 2050)	
+ aumento moderado de la demanda	Germanio
+ moderado riesgo de suministro	Cobalto
+ moderadas restricciones al reciclaje	

FUENTE: ÖKO-INSTITUTE E. V. (2009: 93).

A modo de ejemplos de aplicación de criterios de criticidad, analizaremos dos informes. Uno del Öko-Institut financiado por la Comisión y otro de ella misma. El primero tiene un enfoque parcial, al centrarse en el estudio de los metales críticos para el futuro de las tecnologías sostenibles. Establece tres criterios: rápido crecimiento del

consumo, riesgo de suministro y restricciones al reciclado a corto, medio y largo plazo. Mientras que el segundo informe solo establece dos factores: importancia económica y riesgo de suministro. Los resultados del primer informe se resumen en la tabla 1. A corto plazo (próximos cinco años) son críticos el teluro, el indio y el galio, porque tienen un rápido aumento de la demanda (>50% hasta 2020), serios riesgos de suministro (>90% de reservas concentradas en tres países, escasez física y escasez técnica) y moderadas restricciones al reciclado. A medio plazo (hasta 2020) los son: tierras raras, litio, tantalio, paladio, platino y rutenio, pero se clasifican en dos subgrupos. Las tierras raras, el litio y el tantalio sufren de un rápido aumento de la demanda y de serias restricciones al reciclado (alto nivel de aplicaciones disipativas, limitaciones físico-químicas, falta de tecnologías e infraestructuras, etc.), mientras que otros (paladio, platino, rutenio) comparten la primera característica y tienen moderados riesgos de suministro y restricciones al reciclado. Y a largo plazo (hasta 2050) son: germanio y cobalto, cuyos tres rasgos son moderados (Öko-Institut e. V., 2009: 6,7).

La preocupación por la seguridad de abastecimiento llevó a la UE a impulsar en 2008 la estrategia "Iniciativa de las materias primas", que plantea varias políticas para hacer frente al problema, y creó el "Grupo de Suministro de Materias Primas" para que le asesorara. En ese momento consideraba críticos al cobalto, platino, indio, titanio y tierras raras. Pero la dependencia del platino y del indio era considerada "particularmente crítica" (COM(2008)699 final). En 2010 el grupo emitió el informe "Critical Raw Materials for the EU", que define un grupo de materias primas críticas al que se atribuye una conjunción de riesgos de suministro y de importancia económica superior al resto. Solo contempla como factores de riesgo el que los países exportadores restrinjan su comercio por razones políticas o por evitar daños ambientales asociados a su extracción. El informe empieza el análisis de la disponibilidad de recursos con una contundente declaración que niega la escasez geológica: "En los 50 años pasados el sector de industrias extractivas ha logrado satisfacer la demanda mundial y ha retrasado hacia el futuro la vida de recursos calculada previamente. Esto es el resultado del normal comportamiento económico" (Ad-hoc Working Group, 2010: 16). Este argumento no resulta válido ante el rápido aumento del consumo de los países emergentes. Otro argumento es que el desarrollo tecnológico permitirá profundizar en la corteza terrestre mucho más que en la actualidad, pero no tiene en cuenta el techo del petróleo. Pero, el informe se muestra contradictorio, porque cita muchos y graves problemas de suministro y solo abarca los próximos diez años, debido a que afirma que el panorama posterior es muy incierto. Con tal limitación temporal resulta imposible establecer una estrategia de recursos. Expone muchos ejemplos de metales que son subproductos de la minería del metal principal (galio, germanio, teluro, selenio, indio, el grupo del platino, renio, etc.), por lo que "no sería económico aumentar la

extracción de zinc para obtener más germanio". Cita el caso extremo del renio, que es un subproducto del molibdeno, el cual lo es a su vez del cobre. Define tres grupos de minerales, de los que uno solo presenta riesgo, porque en él coinciden los de suministro y la importancia económica (entre moderada y alta). En este grupo ocupan posiciones destacadas las tierras raras, el grupo del platino, niobio, manganeso, germanio, indio, tungsteno, etc. Ubica en el grupo de factores más bajos a la plata, el litio, el cobre, etc., y entre los de alto valor económico, pero con riesgo de suministro muy bajo, al renio, teluro, hierro, aluminio, zinc, cobre, etc. (Ad-hoc Working Group, 2010: 17-19, 23). A pesar de los criterios dispares, los estudios coinciden en que son críticos tierras raras, grupo del platino, germanio e indio.

5. BASES PARA UNA ESTRATEGIA DE ECONOMÍA CIRCULAR

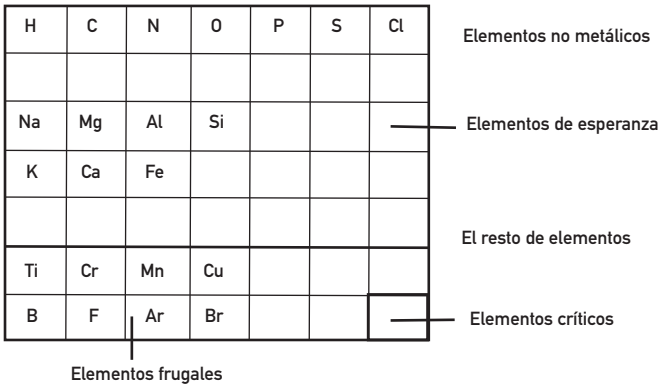
El cambio en un sistema complejo solo se puede conseguir con un sistema integrado de medidas. Una de ellas es pasar de una sociedad de aparente abundancia y despilfarro a otra austera. Tendremos que restringir al máximo los usos de materiales críticos. Otras medidas son el uso de bienes de larga vida, la sustitución de materiales escasos por otros abundantes y el reciclado intensivo. En los dos capítulos próximos veremos algunas prácticas industriales (como la creación de ecosistemas industriales y de sistemas producto-servicio) necesarias para construir una economía circular.

Aunque el reciclado es una actuación que permite una rápida reducción de consumos de recursos, no puede evitar su agotamiento a largo plazo, dado que la gran cantidad de metales que utilizamos, muchos de ellos en forma de aleaciones, impide que se sobrepase el ratio de reciclado del 90%. La transición a una economía circular se acelera si, además de intensificar el reciclado, sustituimos los materiales escasos por otros abundantes. Sin embargo, estamos aumentando el número de metales que utilizamos, y éstos normalmente se usan de forma difusa, lo cual complica su reciclado. Así que la solución pasa por la sustitución de materiales escasos por otros abundantes y por reducir su número. Ambas medidas, y especialmente la segunda, suponen un gran desafío. La tabla 2 muestra la segunda medida. Se trataría de utilizar sobre todo los metales y los no metales más abundantes. Son los "elementos de esperanza" y no es una coincidencia que sean los elementos que conforman los macro-nutrientes naturales. Los "elementos frugales" (también metales y no metales) son los que no tienen sustitutos, como el cromo para el acero inoxidable, y deben ser utilizados exclusivamente en estos casos. Los "elementos críticos" deben ser utilizados solo en aplicaciones esenciales, cuando no haya sustitutos, como es el caso de las energías renovables (teluro, indio y galio en placas

fotovoltaicas o el neodimio y el disprosio en aerogeneradores). Entre los elementos de la tabla no hay ningún metal pesado, por lo que se reducen los impactos ambientales. Por último, otras sustituciones necesarias son las de materiales provenientes de los combustibles fósiles por agro-materiales (Diederen, 2010: 91, 92).

TABLA 2

ELEMENTOS DE ESPERANZA, FRUGALES Y CRÍTICOS



FUENTE: DIEDEREN (2010: 91)

Aparte de los materiales existentes en la corteza terrestre existen otros denominados antropogénicos, que son los que existen en las sociedades, formando parte del *stock* de edificios, máquinas, infraestructuras, etc., y los que se encuentran en vertederos. Por su importancia, centraremos este apartado en los metales. Aunque se prevé que la escasez de algunos de ellos puede hacer rentable en el futuro *minar* los vertederos, aquí nos centraremos en los metales que forman parte de la tecnosfera, por su importancia y porque existen muy pocos datos sobre los primeros. En las sociedades industriales se van acumulando grandes cantidades de metales. En EE UU, desde 1932 el cobre acumulado ha pasado de 73 a 240 Kg/persona. Se conocen con cierta precisión los metales utilizados en los países OCDE, sobre todo cuando se refieren a los grupos principales. Entre los metales de ingeniería tenemos: hierro (7.000-14.000 Kg/persona), acero (7.085), aluminio (350-500), cobre (140-300), zinc (80-200) y plomo (20-150). Los metales especiales que destacan son: manganeso (100 Kg/persona), cadmio (80), cromo (7-50), titanio (13) y mercurio (10). Las cantidades de metales preciosos son mucho menores: oro (35-90 gr/persona), plata (13), paladio (1-4), platino (1-3) y rodio (0,2). Pero hay una gran falta de información sobre la mayor parte de los metales de aleación (cromo, manganeso, níquel y estaño) y del grupo de los metales especiales (UNEP, 2010*a*: 17-25; 2010*b*).

El reciclado de los metales ahorra cantidades enormes de energía. El reciclado de aluminio requiere doce menos energía que la producción primaria, tres veces en el caso del acero. En general, los ratios de ahorro se sitúan entre 2 y 12. Pero los ratios de reciclado son bajos. Solo unos pocos (como el acero o el platino) tienen índices del 50% o más. Éstos varían mucho según sectores. En aplicaciones industriales pueden alcanzar hasta el 90%, pero en el sector de la automoción se sitúan por el 50-55%. Por el contrario, en el electrónico los ratios se sitúan entre el 5 y el 10%, y menos en las tecnologías necesarias para la sostenibilidad. De metales como el litio, neodimio, teluro, selenio, disprosio, lantano, indio y galio, que se utilizan en placas fotovoltaicas, aerogeneradores, células de hidrógeno, baterías o lámparas de alto rendimiento, solo se recicla alrededor del 1%. Y, sin embargo, se prevé aumentos explosivos de su demanda. La del indio (que en un 80% se debe al sector electrónico) aumentaría de 1.200 Tm (en 2010) a 2.600 en 2020, pero es un subproducto de la minería del zinc. En la UE la chatarra supuso 9,3 millones de toneladas en 2005. Normalmente se desmantelan a escala nacional y se obtienen fácilmente cobre, aluminio y metales ferrosos. Pero las partes más complejas (circuitos integrados, baterías, teléfonos móviles, etc.) tienen grandes cantidades de materiales (un teléfono móvil contiene unos 60), pero en pequeñas cantidades, por lo que su reciclado requiere plantas de reciclado costosas y de alto nivel tecnológico. Aunque unos pocos países OCDE cuentan con algunas plantas de reciclado (Japón, Alemania, etc.) que son capaces de reciclar indio, teluro, rutenio, etc., la mayor parte de los e-residuos se exportan a países No-OCDE. El panorama es grave, porque el sector usa el 80% del indio y del rutenio y el 50% del antimonio, además de usar materiales esenciales para las energías renovables y las células de hidrógeno, como selenio, teluro, indio, platino o rutenio. Esas plantas reciclan también metales de otros sectores, pero su capacidad se desbordará pronto. Por último, no existen tecnologías de reciclado de metales que se usen en cantidades pequeñas: tantalio, tierras raras, litio, galio, germanio, etc. (PNUMA, 2009: 6-19; 2010*b*).

6. RECICLADO Y SUSTITUCIÓN DE MATERIALES METÁLICOS Y NO METÁLICOS

6.1. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Los materiales de construcción constituyen el componente doméstico más importante de todos los materiales utilizados, por eso es muy importante cerrar sus ciclos. La naturaleza de los materiales es muy variable y depende de

las costumbres y de su disponibilidad en cada sociedad. Se suele clasificar los materiales según su posible tratamiento cuando se convierten en residuos:

- Reciclables y/o reutilizables: metales; maderas y otros residuos bióticos; vidrio; plásticos; telas, papeles y cartones
- Exclusivamente reutilizables: pétreos (naturales y artificiales) que deben ser sometidos a triturado para su reutilización.
- Solo reutilizables al encontrarse mezclados con otros materiales: morteros (Glinka *et al.*, 2006).

Además, en la construcción se generan otros muchos materiales que no son incorporados a los elementos construidos: tierras y rocas de excavaciones; envases metálicos y de plástico; bolsas y envoltorios de plástico; envases de papel y cartón; y también todo tipo de productos rotos (ladrillos, losas, focos, elementos para albañilería). Hasta ahora la práctica más frecuente consiste en enterrarlos en los terrenos dedicados a las construcciones (EPA, 2002).

Al igual que otros productos, el diseño de los edificios (que determina los materiales estructurales y de cierre utilizados, los aislamientos, cañerías, pinturas y barnices, etc.) es un factor clave en el potencial de duración de los edificios y de reutilización y reciclado en casos de remodelación y de demolición. La estructura de los edificios debe ser de acero, en vez de hormigón, por la facilidad de reciclado y menor consumo energético. La llamada albañilería húmeda debe ser sustituida por la seca. Es decir, utilizar materiales de fachadas, suelos y paredes que sean prefabricados. Así que los edificios se construyen ensamblando las piezas y la demolición supone un desmontaje. Es lo que se define como diseño modular. Algunos países del norte de Europa se acercan al 100% de materiales recuperados. Sin embargo, los altos porcentajes alcanzados se ven minusvalorados porque en algunos casos la reutilización supone un uso menos noble, como es la utilización de materiales, una vez triturados, en firmes de carreteras (EPA, 2002).

6.2. MATERIALES Y SUSTANCIAS DE LA INDUSTRIA QUÍMICA

La industria química produce una gran cantidad de sustancias, productos y residuos que son peligrosos. Utiliza petróleo, minerales, metales y algunos productos agrícolas para producir decenas de miles de sustancias químicas que se usan como biocidas (agentes desinfectantes, fungicidas, pesticidas, insecticidas, conservantes de la madera, etc.), pinturas (pinturas, lacas, tintas, etc.) y polímeros (plásticos). La UE es el mayor fabricante de productos químicos (el

30% de la producción mundial) y el sector químico es el segundo sector industrial europeo. En la UE existen más de 100.000 sustancias registradas, de las cuales 10.000 se producen en cantidades superiores a 10 toneladas y unas 20.000 en cantidades entre 1 y 10 toneladas. La UE reconoce que sabe muy poco del otro 70%, que son los productos comercializados antes de 1981 (cuando no existían controles de toxicidad) y que constituyen el 99% en peso. Entre 200 y 300 nuevos productos químicos son comercializados cada año en cantidades significativas. Solo han sido testados 3.000, y se sabe que más de 800 son cancerígenos, mutagénicos o disruptores de la reproducción. Las ventas mundiales se han multiplicado por nueve desde 1970 y crecen al ritmo anual del 3% (Eder y Sotoudeh, 2001; EEB, 2004*a*: 23).

Una estrategia de química sostenible debe contar con dos elementos: la detección urgente de las familias de productos más peligrosos y su rápida eliminación; el desarrollo de una química verde (o química sostenible), lo cual supone un cambio radical en las materias primas utilizadas, los reactivos y las tecnologías de producción. Analizaremos en primer lugar las medidas propuestas para la eliminación de las sustancias y productos peligrosos.

El estudio de peligrosidad caso por caso llevaría muchísimos años y siempre sería incompleto. Se puede facilitar la detección de la peligrosidad si se analizan por familias de productos, porque la inmensa mayoría de los productos peligrosos pertenecen a unas pocas familias. La principal es la de los organohalogenados y en ella destaca la subfamilia de los organoclorados (unos 11.000 productos comerciales que incluyen pesticidas, disolventes, plásticos, etc.). Otra familia es la de los hidrocarbonos aromáticos (benceno, benzopireno, etc.). La Royal Commission on Environmental Pollution (RCEP, 2003) recomienda aplicar los avanzados programas informáticos que está utilizando la industria farmacéutica para "identificar las moléculas con propiedades fisiológicas particulares": persistencia (la resistencia a degradarse en condiciones ambientales), bío-acumulación (la tendencia a concentrarse en los organismos) y peligrosidad.

El segundo elemento de la estrategia de prevención, y el de más trascendencia, es la sustitución de la química actual por una química verde o sostenible, que se define como "la utilización de un conjunto de principios que reduzcan o eliminen el uso o la generación de sustancias peligrosas en el diseño, la fabricación y el uso de productos químicos" (Geiser, 2003). Se considera que esta química se consigue respetando doce principios, entre los que conviene destacar los siguientes: maximizar la incorporación de todos los materiales del proceso en el producto acabado; usar y generar sustancias que posean poca o ninguna toxicidad; preferir los materiales renovables frente a los no renovables; diseñar productos para su descomposición

después de su uso; preferir las reacciones que necesitan catalizadores frente a las que no los necesitan. Ésta es una química que imita a la naturaleza. La química actual utiliza reactivos relativamente simples y empleando casi todos los materiales de la tabla periódica. Por el contrario, "la naturaleza consigue una gama enorme de procesos bioquímicos selectivos con apenas un puñado de elementos ambientalmente comunes. La selectividad se realiza a través de un diseño de los reactivos que es mucho más elaborado que el sintético" (Collins, 2003). Una conferencia internacional de 2001 llegó a la conclusión de "que muchas de las tecnologías que cumplen los principios de la química verde ya existen y ofrecen oportunidades inmediatas de reducir la carga ambiental y aumentar la rentabilidad de las empresas" (http://pubs.acs.org).

6.3. MATERIALES Y SUSTANCIAS DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA

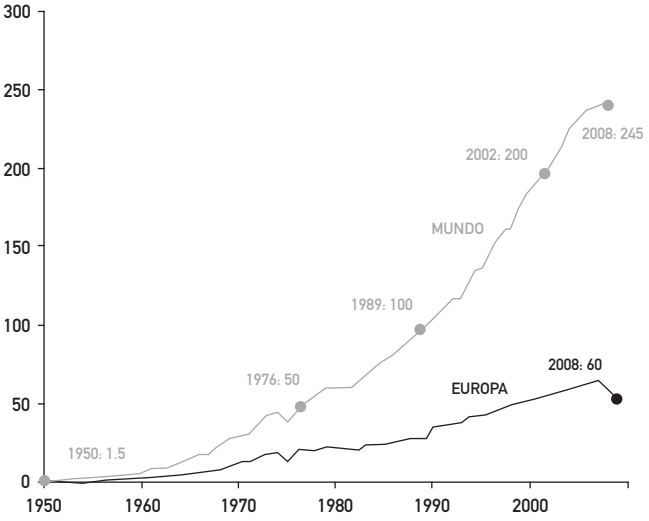
La industria petroquímica utiliza el 20% del consumo total de petróleo, además de "una cantidad significativa de gas natural" (AIE, 2008), para fabricar una gama amplia de productos (polímeros —plásticos—, fibras textiles, lubricantes, disolventes, productos tensoactivos, etc.). En numerosos casos el reciclado es imposible: el uso difuso de los productos tensoactivos los hace irrecuperables; los lubricantes que se pierden con el uso en las cadenas lubricadas y en pequeños motores (fueraborda, sierras mecánicas, etc.); muchos tipos plásticos presentan problemas (a veces irresolubles) para ser reciclados.

Los plásticos son con gran diferencia los materiales más importantes de la petroquímica. La ruptura de las moléculas de las materias primas permite obtener moléculas simples (monómeros) que son combinadas para dar lugar a una gran variedad de polímeros (plásticos). Según las empresas del sector, representan el 4% del consumo total de petróleo y de gas natural se utiliza en su elaboración, del que casi la mitad se utiliza como energía en el proceso de elaboración. La producción mundial de plásticos ha venido creciendo desde 1950 al ritmo anual del 9%, pasando de 1,5 millones de toneladas en 1950 a 260 Mt en 2007, pero en 2008 se redujo a 245 Mt. En Europa la producción cayó un poco, hasta 60 Mt (el 25% del total) (Plastics, 2009).

Existen dos tipos básicos de plásticos inorgánicos: termoplásticos y termoendurecidos o duroplásticos. Éstos tienen una estructura molecular fija que les impide fundirse. Los termoplásticos tienen una estructura molecular flexible que les permite fundirse. Éstos constituyen más del 80% de los plásticos y se utilizan en embalaje, automoción y en fibras textiles e impermeabilizaciones. En la UE, en 2008, el embalaje utilizaba el 38%, la construcción el 21%, la industria de automoción el 7%, los aparatos eléctricos y electrónicos el 6% y otros usos suponen el 28% restante (Plastics, 2009).

GRÁFICO 6

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PLÁSTICOS, 1950-2008



FUENTE: PLASTICS EUROPE (2009: 6).

Los plásticos más utilizados son las tres variedades de polietileno (PE, 29%), el polipropileno (PP, 18%) y el cloruro de polivinilo (PVC, 12%). También se utilizan ampliamente el poliuretano (PU), el poliestireno (PS), el policarbonato (PC), el ABS y el polietileno-tereftalato (PET). El ritmo de crecimiento anual de cada uno de los tipos de plásticos oscila entre el 0,5% y el 7,5% (Plastics Europe *et al.*, 2008). El PE y el PP necesitan muy pocos aditivos, por lo que tienen la más alta reciclabilidad y representan un bajo riesgo para la salud y el medio ambiente. Son baratos y muy versátiles, por lo que pueden sustituir a los otros. El PVC es el más peligroso de todos los plásticos y no puede ser reciclado, porque el 56% del peso lo forman los aditivos. Se utiliza, sobre todo, en la construcción. El PU se emplea principalmente como aislante y en espumas. En su fabricación se usan productos peligrosos y se producen subproductos peligrosos. El PS se utiliza como aislante y en aplicaciones que requieren dureza, como juguetes. En su producción se utiliza benceno (cancerígeno) y otros productos sospechosos de serlo. El ABS se utiliza en aplicaciones duras, como tuberías, parachoques y juguetes. Está compuesto de numerosos productos peligrosos. El PET se utiliza en empaquetado y tiene un nivel bajo de aditivos (http://archive.greenpeace.org/toxics).

Los "plásticos son difíciles de reciclar o no reciclables de un modo económicamente viable" (Ren, 2003). Y cuanto más especializados y complejos son

los materiales plásticos menos interesantes son para el reciclado. Si los residuos plásticos son complejos, solo se puede reciclar para usos poco *nobles* (parques infantiles, mobiliario de exteriores, etc.). El único reciclado posible para los plásticos termo-endurecidos es el químico. Éste se alcanza mediante la ruptura de los polímeros para convertirlos en los monómeros originales. Pero esta técnica solo alcanza los mejores resultados para un número limitado de plásticos (poliuretano, poliamida, poliéster, etc.). La técnica empleada en el reciclado de los termoplásticos es la mecánica: volver a fundirlos mediante calentamiento. El orden de reciclabilidad de los plásticos indicados anteriormente va en orden inverso al expuesto. El PE y el PP no tienen problemas importantes de reciclado (pero normalmente es necesario añadir al plástico reciclado cantidades variables de plástico virgen), el PET les sigue en el orden, los plásticos intermedios (PU, PS, PC, ABS) tienen una reciclabilidad baja y el PVC no es reciclable (Plastics Europe, 2008).

El reciclado de los residuos del consumo es bajo. En la UE se está fortaleciendo el ritmo de reciclado mecánico de plásticos usados, como consecuencia de la normativa comunitaria. En 2002 solo se recuperaba un 38% y la mayor parte se incineraba (un 23%); el 15% restante se reciclaba (APME, 2003). En 2008 la recuperación suponía el 51,3% (50% en 2007), siendo el reciclado el 21,3% (20,4% en 2007) (Plastics, 2009). En resumen, el reciclado avanza muy lentamente y cerca de la mitad de los plásticos van a vertedero. En el reciclado se ahorra el 70% de la energía, mientras que es muy bajo el rendimiento energético de la incineración: "En muchos casos la electricidad y/o el vapor producido representa solo el 10% del potencial calorífico del residuo" (Plastics Europe, 2008). El sector del embalaje es particularmente apto para el reciclado, debido a que se utilizan solo seis tipos de polímeros, no contienen sustancias peligrosas y los residuos son jóvenes, ya que el periodo de tiempo transcurrido entre la producción y el consumo es corto. El porcentaje de plásticos de embalaje alcanzaba el 63% en 2007 y 2008, solo superado por la agricultura. A pesar de que se recupera poco, una fracción importante y creciente se exporta (Plastic Europe *et al.*, 2008; Plastics, 2009).

6.4. AGROMATERIALES

Numerosos informes enfatizan la existencia de un alto potencial de desarrollo de los materiales bióticos. El *Foro Gobierno-Industria sobre la Utilización de las Cosechas para Usos no Alimentarios* (GIFNFC, 2002: 35) de Gran Bretaña ha encontrado altas posibilidades de crecimiento en el empaquetado, en la industria

de Artes Gráficas (disolventes, tintas, etc.), etc. La *Interactive European Network for Industrial Crops and their Applications* (IENICA) estima que existe un considerable potencial de expansión de los aceites orgánicos para producir lubricantes, pinturas, recubrimientos de superficies, productos tensoactivos y plásticos. Además se usan para producir lubricantes, tintas, tintes, colorantes, disolventes, lubricantes, productos tensoactivos, detergentes, jabones, polímeros, pinturas y protectores superficiales, textiles, papel, componentes del automóvil y en la construcción; polímeros, detergentes, pegamentos, adhesivos, cosmética y medicamentos; y sustancias para medicamentos, perfumes, productos de belleza, etc. (IENICA, 2008).

La baja o nula reciclabilidad de la mayor parte de los plásticos obliga a trabajar en dos direcciones: sustituir los no reciclables por otros que sí lo sean y por agroplásticos. La elección entre ambos dependerá de los usos. La sustitución por agroplásticos ha resultado difícil por los bajos precios históricos del petróleo y del gas y la alta eficiencia de las refinerías, frente a la ineficiencia de los procesos agroindustriales. La mayor parte de la biomasa utilizada se convierte en residuo. El grado de aprovechamiento oscila entre el 2% (sisal) y el 30% de la madera en la fabricación de papel. Pero la escalada de precios del petróleo del periodo 2002-2008 impulsó la producción de agroplásticos, pasando de menos del 0,1% del total de plásticos a principios del siglo XXI a cerca del 1% en 2006 (85.000 t/a) (GIFNFC, 2002: 23; http://en.wikipedia.org).

Los agroplásticos se utilizan mucho en productos de corta vida: empaquetado, productos de *catering* (bandejas, cubiertos, vasos, etc.), bandejas y envoltorios de verduras, frutas y productos lácteos, botellas para bebidas no alcohólicas, etc. También se utilizan en aplicaciones duraderas, como fibras para la industrial textil, en la industria de la automoción y la construcción (como aislantes). Diversos informes prevén un crecimiento anual del 17%, lo que supondrá 1,5 millones de t/a en 2011. Un informe de la UE establece un potencial de 2 millones de t/a en el ámbito europeo para los siguientes empleos por orden de importancia: productos para *catering*; plásticos para envoltorios; empaquetado de vegetales; agricultura; fabricación de ruedas; bolsas para basura orgánica; etc. (http://en.wikipedia.org).

No es conveniente que los plásticos se degraden en condiciones ambientales, porque esto obligaría a diseñar una gran variedad de tipos que tendrían diversas velocidades de degradación, según la durabilidad necesaria para cada uso. Normalmente tienen una biodegradabilidad que se consigue en una planta de compostaje. Pero hay excepciones. Para uso agrícola se diseñan agroplásticos que se degradan en condiciones ambientales por los microorganismos del

suelo. Los agroplásticos deben contribuir al relanzamiento del compost (el cual puede reducir un 25-50% del peso de los residuos), cuya comercialización está siendo obstaculizada por las impurezas que contiene, especialmente los residuos de las bolsas de plástico con que se recogen los residuos orgánicos, lo cual lleva a descartar un 10-20% del compost (Ren, 2003).

Se está produciendo una sustitución de los disolventes sintéticos por los naturales, sobre todo en el sector de Artes Gráficas. En la UE se utilizan anualmente 280.000 toneladas de agrodisolventes, la mayor parte en pinturas y en limpieza de metales, y están reemplazando lentamente a los sintéticos, porque ofrecen mejores prestaciones en muchos usos y por razones ambientales. Hay numerosas aplicaciones de los lubricantes que producen vertidos en la naturaleza: motores de dos tiempos, motosierras, perforaciones, cables engrasados, motores fueraborda, etc. El 50% de los lubricantes sintéticos empleados en el mundo acaban en el ambiente y su biodegradabilidad es baja y su toxicidad alta. En Gran Bretaña los agrodisolventes son el 75% del mercado de lubricantes utilizados en motosierras y se espera que puedan superar el 90%. En la UE-15 se está produciendo un aumento del uso de productos orgánicos en pinturas y protectores superficiales. El mercado de tinta vegetal para impresión domina en Bélgica (80% del mercado), Países Bajos, Alemania y Escandinavia (GIFNFC, 2003: 20, 27; IENICA, 2006: 33-36). Muchas empresas han iniciado la producción en masa de agroplásticos. Cargill produce en Nebraska 140.000 t/a. En Brasil, Dow construye una de 350.000 t/a y Braskem otra de 200.000 t/a. Pero los cultivos suelen ser transgénicos (http://nz.theoildrum.com/node/4458).

En la UE, las fibras naturales (cáñamo, lino, sisal, yute, algodón, etc.) se utilizan en la industria de la automoción, principalmente sustituyendo a la fibra de vidrio. Esta industria ha pasado de cero en 1994 a usar más de 28.000 toneladas en 2000, de las cuales el 60% son utilizadas en Alemania. Se estima que la demanda alcanzará 100.000 toneladas en 2010. Las razones para su uso son la eficiencia energética (necesitan hasta un 80% menos energía para su producción que la fibra de vidrio), que reducen el peso del vehículo, ahorrando así energía, etc. En una primera fase se produce la sustitución hasta aquí reflejada, las empresas de automoción más avanzadas están empezando a utilizar algunos de los materiales indicados como elementos constructivos (GIFNFC, 2002: 28,52).

El cáñamo tiene un gran potencial para ser utilizado en múltiples usos (aparte de los indicados) y se espera un importante desarrollo futuro. Tiene casi todas las aplicaciones del resto de los agroproductos señalados: textil, papel, disolventes, lubricantes, tintas, protectores superficiales, productos de

higiene, diversos tipos de alimentos humanos a partir de su aceite o de sus semillas y para ganado. No se emplean pesticidas en su cultivo porque no tiene depredadores, ni herbicidas, porque crece muy rápidamente. Protege el suelo de la erosión porque sus raíces forman su retícula compleja y absorbe metales pesados. No necesita del cloro en la producción de papel. En EE UU, durante los años treinta del siglo XX, se utilizaba intensivamente para producir papel. Pero Du Pont, que monopolizaba la tecnología del papel a partir de madera, consiguió que el cáñamo fuera ilegalizado por sus propiedades alucinógenas (como ocurrió en Europa). A partir de 2002 se inició el proceso de recuperación en el mundo (especialmente en China, Norteamérica y Europa) ocupando su cultivo cerca de 23.000 Ha en 2003, siendo la producción de 70.000 toneladas en 2003, 30.000 en la UE. Puede sustituir al algodón, cuyo cultivo usa el 26% de los pesticidas del mundo. El cáñamo y el lino son las principales fibras textiles europeas y el área que ocupan crece rápidamente, aunque su cuota en el mercado era solo del 1,5% en 2005. A pesar de las nuevas aplicaciones del cáñamo, la superficie dedicada en la UE está estancada en unas 16.000 Ha. Por último, sobre la superficie agrícola que demandarán los agromateriales, un informe del gobierno británico muestra que será muy inferior a la de los agrocombustibles. Alcanzar una cuota de mercado del orden del 5% para cada uno de los agromateriales supondrá menos del 1% del área dedicada a los usos para alimentación (GIFNFC, 2003: 13 y ss.; IENICA, 2006: 54-69).

CAPÍTULO 17

ECOLOGÍA INDUSTRIAL

En este capítulo se analiza el concepto de ecología industrial (EI) y sus dos campos más importantes: el análisis de flujo de materiales y la simbiosis industrial.

1. EL CONCEPTO GENERAL DE EI

La EI es un campo de conocimiento que pretende estudiar de forma interdisciplinar las relaciones existentes entre tecnología, sociedad y ecología desde un enfoque en el que los sistemas industriales (empresas, sectores, economías o sociedad en general) no son más que un tipo de ecosistemas que forma parte de la biosfera. El punto de partida de la EI lo constituyen dos hechos sucedidos en 1989. En ese año Robert Frosch y Nicholas Gallopoulos (vicepresidente de investigación y responsable de investigación de motores de General Motors, respectivamente) publican en la revista *Scientific American* el artículo "Las estrategias industriales viables", que defiende la idea de crear sistemas productivos que funcionen como los sistemas naturales. Describe un ecosistema industrial como aquel que "el consumo de energía y materiales es optimizado y los subproductos de un proceso [...] sirven como las materias primas para otros procesos". Además, ese mismo año se descubre el ecosistema industrial

de Kalundborg, pequeña población danesa que se convierte en el referente mundial de la materia. Este artículo propició una rápida consolidación de la EI. En 1991 la Academia de Ciencias de EE UU celebró un coloquio sobre la materia. A principios de 1994 la Academia Nacional de Ingeniería de EE UU publicó *The Greening of Industrial Ecosystems*, libro que recogía los trabajos pioneros sobre esta materia (Garner y Keoleian, 1995: 4). En 1997 comienza a publicarse el *Journal of Industrial Ecology* (Erkman, 2002: 35). En 2001 se crea la Sociedad Internacional para la Ecología Industrial, la cual ha adoptado la citada revista como su órgano oficial. Además se cuenta con la revista *Journal of Cleaner Production.* Numerosas universidades incorporan este campo de conocimiento y también inspira las estrategias de muchas empresas, su organización y el diseño de productos.

Sin embargo, no se puede decir que se haya convertido en el campo de estudio y aplicación de la producción sostenible, porque se ha limitado básicamente a desarrollar dos campos muy concretos, aunque de importancia nada desdeñable: el metabolismo social y la simbiosis industrial. Un análisis realizado por Ehrenfeld (2007) sobre los artículos publicados en las revistas dedicadas a la EI muestra que solo un porcentaje mínimo de ellos no trataban aspectos de los dos campos indicados. El metabolismo social estudia los flujos de materiales y energía en sociedades, industrias, etc. La simbiosis industrial estudia y promueve los intercambios de materiales y energía en el mundo empresarial. Este campo está siendo desarrollado por ingenieros, mientras que los economistas son los que normalmente realizan estudios de metabolismo industrial.

En buena medida la especialización de la EI en los campos señalados se debe a que ha predominado (sobre todo en la aplicación práctica) la visión que se basa en que la analogía de los sistemas industriales y naturales facilita que las empresas se vuelvan más eficientes. Para Frosch, "la idea de EI está basada en la analogía directa con los ecosistemas industriales [...] La estructura de un sistema industrial, o un sistema económico, son extraordinariamente similares" (Ehrenfeld, 2007). Desde esta perspectiva, los sistemas, aunque sean complicados (en los sistemas industriales se pueden dar miles de elementos interconectados), no se ven como complejos. Así que se considera que, al analizar las partes constituyentes, se puede comprenderlos y predecir su dinámica, lo cual ha determinado un análisis de los sistemas productivos que se distingue por: su carácter estático y lineal en relación con los componentes técnicos; por no tener en cuenta los aspectos sociológicos y organizacionales; y por su reduccionismo tecnológico (Ehrenfeld, 2009: XVIII, XIX).

Por el contrario, en el momento actual empiezan a proliferar los autores que tienen la visión de que los sistemas industriales deben imitar a los ecosistemas y la aplicación de modelos que analizan los sistemas productivos desde la perspectiva de

que son SCA. Las revistas principales empiezan a mostrar este giro paradigmático. M. Chertow (2009: 6) afirma que "la analogía biológica es central en el campo de la EI". B. Davidsdottir y M. Ruth (2009: 224, 225) afirman que "los ecosistemas industriales son SCA" y que el "objetivo [de la EI] es estimular la evolución del sistema industrial de forma que alcance las mismas características que los sistemas naturales". Ehrenfeld (2007: 76-78), director de la Sociedad Internacional de Ecología Industrial, considera que la EI debe constituir una metáfora (una visión de una sociedad biomimética) que la lleve más allá del metabolismo y la simbiosis industrial, de forma que se convierta "en la ciencia de la sostenibilidad". Por último, las principales revistas de EI comienzan a publicar artículos que reflejan esta visión y el libro colectivo *The Dynamics of Regions and Networks in Industrial Ecosystems* muestra la maduración de esta visión (Ehrenfeld, 2009).

2. CONTABILIDAD Y ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES DE SISTEMAS SOCIOECONÓMICOS

2.1. METODOLOGÍA

En los últimos años se han realizado importantes progresos en el conocimiento del metabolismo de la sociedad, como base para el desarrollo de otros tipos de estrategias de sostenibilidad. Los principales esfuerzos han estado encaminados a comprender cuál es el uso de materiales y energía por parte de las diversas actividades económicas, de qué manera esos materiales fluyen por el sistema económico y cómo son transformados al final de su vida útil.

Este análisis del metabolismo se lleva a cabo a muy diferentes escalas. Así, se analizan los flujos de recursos y los impactos ambientales asociados a la elaboración y uso de un producto o sustancia (Análisis de Ciclo de Vida, ACV); también es habitual el estudio de los flujos de materiales y energía asociados a un lugar geográfico, como un país, la cuenca de un río, una ciudad, una empresa o planta (Análisis de Flujo de Materiales y Energía, AFME); para conocer los grupos de sustancias tóxicas y sus flujos (Análisis de Flujo de Sustancias, AFS); también es habitual el análisis de los flujos de materiales e impactos ambientales de los hábitos de consumo de los habitantes de una región (Huella Ecológica, Huella de Carbono, etc.) o los flujos entre naciones, los efectos del cambio tecnológico, etc.

El AFME, como instrumento para entender las relaciones existentes entre antroposfera y biosfera, ha tenido continuidad desde su surgimiento a finales de los

años sesenta, y a día de hoy se puede considerar una metodología consolidada. La verdadera etapa de expansión del AFME comenzó en los años noventa del pasado siglo. En esa época, instituciones como el Institute for Interdisciplinary Research and Continuing Education de la Universidad de Viena, el Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy o el World Resources Institute, junto con diversos organismos y agencias gubernamentales de países como Alemania, Italia, Japón o Países Bajos, le dieron un importante impulso que dura hasta nuestros días. Es especialmente útil para analizar el metabolismo del sistema socioeconómico actual, ya que proporciona una visión sistémica de dicho metabolismo, analizando los flujos físicos de recursos naturales desde su extracción hasta su eliminación final, pasando por los procesos de producción, uso y reciclaje, y teniendo en cuenta las pérdidas a lo largo del camino. Esta técnica tiene su base en el deseo de relacionar el consumo de recursos naturales con la capacidad del medio ambiente para proporcionar materiales y absorber residuos (Adriaanse *et al.*, 1997). Se trata de ofrecer una visión global del fundamento físico de la economía y proporcionar una serie de indicadores de sostenibilidad que relacionen el grado de bienestar de una sociedad con la capacidad de la naturaleza para generar recursos y absorber residuos y emisiones. Para ello se contabilizan tanto los recursos naturales extraídos del medio ambiente (materiales procesados o desplazados) para mantener las diversas actividades económicas, como los residuos, emisiones y vertidos al medio ambiente.

La Contabilidad de Flujo de Materiales y Energía (CFME) es la herramienta utilizada para la contabilización de estos flujos, siendo su objetivo último medir el metabolismo físico de la economía. La CFME de una economía es el complemento en unidades físicas (normalmente en toneladas o Petajulios) de la Contabilidad Nacional en términos monetarios. En el caso de la Contabilidad de Flujos de Materiales (CFM), se basa en el principio de conservación de la materia: la cantidad de materia que transita por la biosfera es constante. Contabiliza todos los flujos de materiales[1] que cruzan los límites entre la tecnosfera, o antroposfera, y la naturaleza. También contabiliza los flujos que cruzan la frontera de un país. La diferencia entre los *inputs* y los *outputs* determina los cambios en el *stock* físico de una economía. La información recogida en la CFM puede ser utilizada en conjunción con criterios cualitativos, como son la toxicidad, no renovabilidad, la función que realizan (alimentación, energía), la utilidad económica, etc. La dimensión de los flujos es muy importante, porque refleja la escala de actuación, permite medir sus tendencias y analizar su relación con el crecimiento económico (Bringezu *et al.*, 2001: 20, 21).

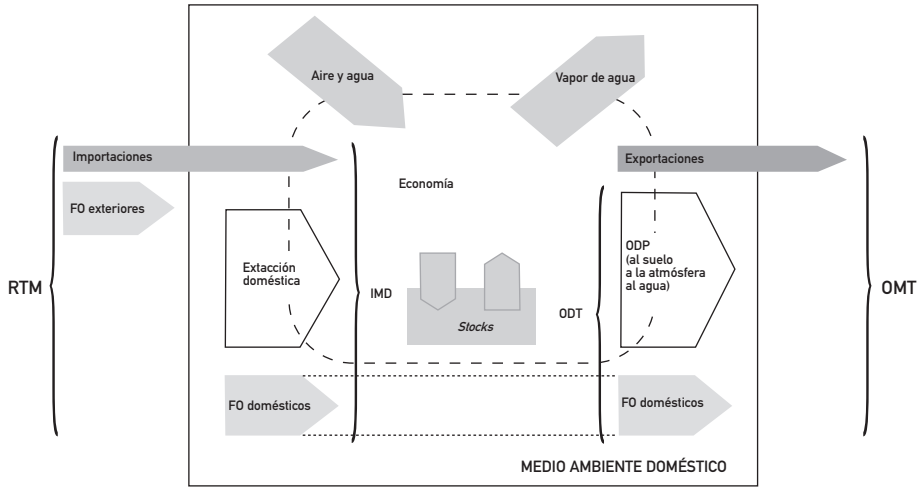
El análisis de los flujos de energía es especialmente relevante a la hora de estudiar el metabolismo de una sociedad, pues es un elemento esencial en cualquier proceso metabólico, ya sea éste de origen fisiológico o socioeconómico. En este

sentido, la Contabilidad de Flujos de Energía emplea los mismos conceptos que la CFM, pero utilizando unidades de energía. Para ello se van a contabilizar todos los *inputs* energéticos materiales e inmateriales (por ejemplo, electricidad, luz) que cruzan la frontera entre la naturaleza y la sociedad. Esto incluye la energía contenida en toda la biomasa, independientemente del uso final que se le dé a ésta.

La mayor parte de los estudios que se han realizado hasta la actualidad sobre el metabolismo de regiones y países han utilizado la CFM y el AFM. Ésta proporciona una serie de indicadores de flujos de materiales que tratan de aportar una visión de las presiones ejercidas por los materiales utilizados por una economía en relación a la capacidad de carga de los sistemas naturales (Bartelmus, 2003). En general, estos indicadores han sido diseñados para describir el metabolismo de las economías, como un primer paso para posteriores análisis más en profundidad (Bringezu *et al.*, 2003).

GRÁFICO 1

FLUJOS DE MATERIALES DE LA ECONOMÍA



FUENTE: ADAPTADO DE MATTHEWS *ET AL.* (2000).
NOTA: RTM: REQUERIMIENTOS TOTALES DE MATERIALES; IMD: *INPUT* MATERIAL DIRECTO; FO: FLUJOS OCULTOS; ODT: *OUTPUT* DOMÉSTICO TOTAL; ODP: *OUTPUT* DOMÉSTICO PROCESADO; OMT: OUTPUT MATERIAL TOTAL.

Desde la perspectiva del AFM se consideran, de forma separada, tanto los materiales que entran directamente en la economía, o *Inputs* Materiales Directos (IMD), como aquellos que no lo hacen, denominados Flujos Ocultos (FO) o "mochilas ecológicas". Los IMD incluyen tanto materiales abióticos como bióticos. Los materiales abióticos comprenden los minerales y materiales de construcción

(menas, arena, grava, etc.), los minerales metálicos y los combustibles fósiles. Dentro de los materiales bióticos se contabiliza la biomasa extraída por las actividades agrícolas y forestales y la obtenida de la captura (pesca y caza).

Los FO hacen referencia a materiales desplazados como consecuencia de determinados procesos económicos, pero que no son utilizados (ganga en minería, excavación en la construcción, erosión provocada por la agricultura, etc.). Además de contabilizar los FO asociados a los materiales extraídos en el propio territorio analizado, se tienen en cuenta los asociados a materiales importados de otras economías. En el actual contexto de economía global, los materiales pueden originarse en un país, ser procesados en otro, transformados en productos finales en un tercer país y finalmente consumidos en un cuarto. Este hecho cobra mayor relevancia cuando se analizan los flujos materiales de una economía muy abierta, como es el caso de la economía vasca. En principio, los FO asociados a estos materiales podrían ser asignados al país exportador, alegando que cada país debería ser responsable de los daños ambientales que se derivan de sus exportaciones. En la práctica, sin embargo, este enfoque ignora las grandes asimetrías existentes entre las economías industriales (las cuales importan grandes cantidades de materias primas) y las economías en vías de desarrollo, muchas de las cuales dependen en gran medida de la exportación de estos recursos y, por tanto, sufren los costes ambientales de la extracción de los mismos (Martínez Alier, 2004). Además, también pasaría por alto la actual base física de la mayoría de las economías industriales y la importancia, desde una perspectiva medioambiental global, de un uso de los recursos más eficiente en estas economías. Por eso, en la metodología del AFM en general, y en esta obra en particular, se incluye una estimación de los FO asociados a las importaciones.

Para un producto o servicio dado, los IMD junto con los FO necesarios para su producción constituyen los Requerimientos Totales de Materiales (RTM) asociados con el producto o servicio. De la misma forma, se pueden calcular los flujos de materiales totales asociados a una economía. A las necesidades físicas totales de una economía —la suma de los materiales domésticos e importados, excepto agua y aire, (IMD) junto con sus FO asociados— se les denominan de forma análoga RTM. Este número comprende el volumen (medido en toneladas per cápita y año) acumulado de materiales primarios extraídos de la naturaleza por las actividades económicas (Bringezu y Schütz, 2001*c*).

Los RTM y el IMD constituyen medidas físicas de la actividad económica de una región y complementan a otras medidas monetarias como el PIB. Juntas, las medidas físicas y monetarias proporcionan una visión más completa del tamaño y alcance de una economía. Los RTM también pueden ser considerados como una medida aproximada de la presión potencial ejercida por una economía sobre el medio

ambiente global. Sin embargo, medidas más precisas dependerán del nivel de agregación de los componentes de los RTM y del impacto ambiental de éstos, que dependerá, a su vez, de múltiples factores (físico-químicos, geoespaciales, ecológicos, etc.). Para ello existen otras herramientas como son el AFS o el ACV.

Una vez extraídos los materiales, éstos son procesados por los agentes económicos y convertidos en productos que, o bien son consumidos por la propia economía, o bien son exportados a otras regiones. Tanto durante los procesos de transformación como de consumo se producen una serie de flujos de materiales entre el medio socioeconómico y el natural. Estos materiales, a su vez, están compuestos por sustancias residuales que, por sus características físico-químicas, pueden llegar a causar daños importantes a la salud humana y a la de los ecosistemas, por lo cual resulta de especial interés tanto su contabilización como el estudio de los procesos de producción y consumo que los generan.

El conjunto de flujos de materiales que sale de una economía recibe el nombre de *Output* Material Total (OMT). Este indicador incluye tanto los materiales exportados a otras economías como el total de materiales depositados en el medio ambiente doméstico en forma de emisiones, residuos, etc. (*Output* Doméstico Total, ODT). El ODT, es un indicador agregado de las presiones totales que ejerce un sistema socioeconómico sobre la naturaleza en su función de sumidero. Este indicador contabiliza, por un lado, los FO domésticos y, por otro, los materiales procesados y devueltos al medio ambiente en forma emisiones, residuos, etc. (*Output* Doméstico Procesado, ODP) (Matthews *et al.*, 2000). Dentro del ODP se incluyen tanto los flujos entre economía y medio ambiente que tienen lugar durante los procesos de producción, como los que tienen lugar durante el consumo.

En el AFME también se incluyen indicadores de consumo de materiales (gráfico 2), como el Consumo Doméstico de Materiales (CDM). Este indicador recoge el consumo aparente de una región calculado como la diferencia entre las entradas directas de materiales (IMD = extracción doméstica + importaciones) y las salidas (exportaciones). El CDM es una medida de la cantidad de materiales consumida directamente por la economía.

La Balanza Comercial Física (BCF) permite comparar la relación existente entre las importaciones y las exportaciones de materiales de un país. De esta forma se posibilita la obtención de medidas del déficit o superávit comercial en términos físicos, que visualizan la dependencia de materiales exteriores de una economía.

La Acumulación Neta de *Stocks* (ANS) constituye una medida de la tasa de crecimiento físico de una economía. Esta variable, estrechamente vinculada a la actividad de la construcción, además de estar asociada a incrementos en la superficie artificializada (en detrimento de la agrícola, forestal o natural), es un indicador

adelantado de futuros flujos de residuos. Atendiendo a la limitada disponibilidad de tierra, se considera que el equilibrio entre *inputs* y *outputs* de materiales (estabilización de la ANS) es necesario para lograr un metabolismo sostenible (Bringezu *et al.*, 2003). La ANS recoge las acumulaciones netas de materiales en forma de edificios, infraestructuras y otro tipo de bienes de consumo duradero como vehículos, maquinaria o electrodomésticos. Este indicador se calcula como la diferencia entre las entradas directas de materiales (IMD) y las salidas (ODP y exportaciones de materiales), teniendo en cuenta las partidas de memorándum[2] de los *outputs*.

El AFM también incluye un Balance de Materiales (BM) que relaciona *inputs* y *outputs* de materiales. La construcción de este balance se basa en la aplicación de la primera ley de la termodinámica sobre la conservación de la materia a las relaciones entre economía y medio ambiente. Este principio descansa sobre la siguiente identidad: *Inputs* Totales = *Outputs* Totales + Acumulación Neta de *Stocks.*

Es decir, el volumen de materiales que entra al sistema socioeconómico o es acumulado o deja el sistema en forma de residuos.

De esta forma este conjunto de indicadores de flujos de materiales ofrecen una visión completa del metabolismo de una región, proporcionando información especialmente útil a la hora de desplegar distintas estrategias de sostenibilidad.

2.2. APLICACIÓN

Existen diversos estudios que han analizado el metabolismo social de diferentes países y regiones. Entre ellos cabe destacar la CFM de la UE-15 y de los Estados miembros en el periodo 1980-2000 elaborada por El Instituto Wuppertal (véase el gráfico 2). Sus conclusiones son:

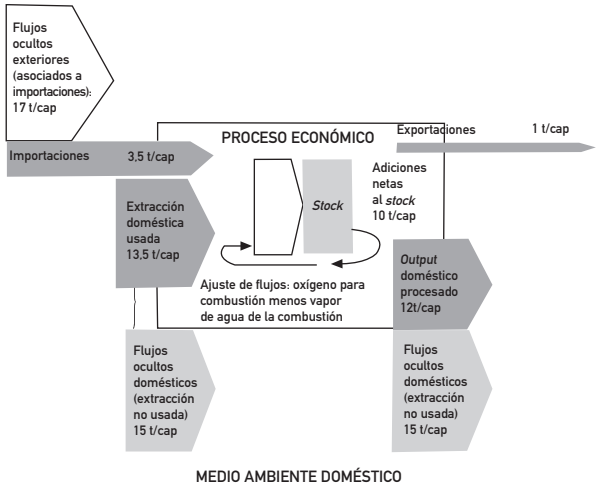
- El IMD anual de la UE-15 asciende a 17 toneladas por habitante (t/hab.), de las cuales 13,5 t/hab. son materiales domésticos y 3,5 t/ hab. son importaciones. Los materiales abióticos no energéticos suponen el 40% y los combustibles fósiles y la biomasa aportan cada uno un 25%. El 74% son recursos no renovables. Los metales muestran una clara tendencia a crecer; también lo hace la biomasa, aunque en menor medida. Los combustibles fósiles tienen una ligera tendencia a decrecer. Esto no quiere decir que se consuma menos energía, sino que el carbón está siendo sustituido por el gas natural.
- Los RTM alcanzan las 50 t/hab. en 1997, lo cual coloca a la UE a un nivel similar a Japón y muy por debajo de EE UU. Las diferencias dentro de la UE son muy acusadas y oscilan entre las 32 t/hab. de Italia y las 100 t/hab. de Finlandia. Las proporciones de los citados grupos de materiales son muy

diferentes en el caso de los RTM, debido a la disparidad de FO: los metales representan el 23%, los materiales de construcción el 18%, la biomasa el 12% y la erosión el 9%. Los FO suponen cerca de los dos tercios de los RTM.

- Como consecuencia del procesamiento del IMD, cada año se devuelven al medio ambiente un total de 12 t/hab. de materiales en forma de emisiones a la atmósfera y al agua y vertido de residuos. Las emisiones de CO_2 son el principal componente de estos flujos de salida. Para obtener una visión del total de flujos de salidas, a este ODP habría que añadir los FO domésticos y las exportaciones a otras economías. De esta forma el OMT de la UE-15 ascendería a 28 t/cap.
- Las exportaciones suman un total de 1 t/hab., cifra notablemente inferior a la de las importaciones. Este déficit en la balanza física del comercio pone de manifiesto la elevada dependencia material de la economía europea.

GRÁFICO 2

METABOLISMO SOCIAL DE LA UE-15. 1997. TONELADAS POR HABITANTE



FUENTE: MOLL *ET AL.*, (2003: 31).

El uso de recursos naturales de la UE tiende a crecer, aunque de forma moderada. Entre 1980 y 2000 el IMD ha pasado de 5,7 a 6,4 Gt, es decir, de 15,9 a 17,5 t/hab. En el periodo 1980 y 1997 los RTM se incrementaron ligeramente, de 18,4 a casi 20 Gt. Además, necesita una cantidad creciente de recursos importados, particularmente metales, combustibles fósiles y piedras preciosas, y los FO asociados tienden a crecer. Las principales importaciones de materiales (teniendo en cuenta los flujos directos e

indirectos) son los combustibles fósiles (28%) y los metales (56%). La gran mayoría de este porcentaje se debe a los metales preciosos, cuya extracción lleva asociada unos elevados FO, por la escasa concentración de estos metales en la naturaleza.

3. GESTIÓN ECOSISTÉMICA DE LAS CADENAS DE PRODUCTO: 'INTELLIGENT MATERIAL POOLING'

Los conceptos sistémicos buscan el cierre de los flujos de materiales ("de la cuna a la cuna", eliminando así el concepto de residuo) mediante la actuación cooperativa de las empresas. El concepto de ecoefectividad se refiere al diseño de los productos, el cual determina cambios en las relaciones entre las empresas que forman las cadenas de producto. El concepto de ecosistema industrial apunta hacia el fortalecimiento de los intercambios de materiales y energía residuales entre empresas de diversos sectores. Mientras que en el primer caso las relaciones entre estas empresas son decisivas para su supervivencia, en el segundo no suelen ser fundamentales. Así que, utilizando la terminología de la ecología, estas relaciones son mutualistas en el primer caso y cooperativas en el segundo. Pero esta distinción tiende a desaparecer por el encarecimiento de los recursos naturales debido a su creciente escasez, lo cual lleva a que las relaciones simbióticas se conviertan también en mutualistas.

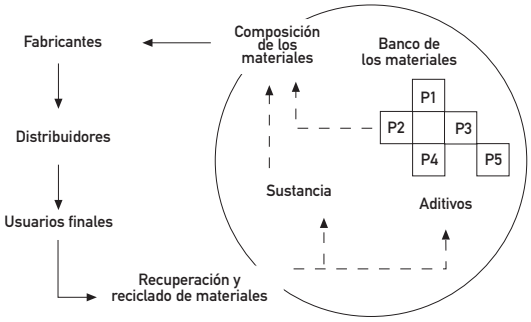
Una de las propuestas principales que permiten una gestión sistémica de los nutrientes es el *Intelligent material pooling* (IMP, fondo común inteligente de materiales), una de las herramientas de aplicación del concepto de la ecoefectividad, que se rige por el lema "de la cuna a la cuna". Éste es "una infraestructura de colaboración de actores económicos dentro del metabolismo técnico que permite a las compañías compartir recursos materiales, conocimiento especializado y poder de compra en relación con la adquisición, transformación y venta de nutrientes técnicos y sus productos asociados" (Braungart *et al.*, 2008). El objetivo del IMP es garantizar el cierre de los flujos de nutrientes, y para ello es necesario que todos los materiales y sustancias sean nutrientes (naturales o técnicos). Pero una empresa por separado, en general, carece del poder necesario para conseguir que los proveedores aporten los productos para crear bienes ecoefectivos. Por eso debe identificar y lograr la colaboración de empresas deseosas de trabajar solo con nutrientes técnicos. Esta colaboración les facilita la identificación de las listas de materiales y sustancias que deben ser eliminados, así como las listas de aquellas materias que deben ser utilizadas en su lugar, y la capacidad de lograrlas, debido a su actuación como un oligopolio de demanda. El elemento central de este sistema es el *material bank*. Este banco es el propietario de los materiales y

sustancias químicas y los alquila a las empresas asociadas, las cuales los transforman en productos que a su vez son alquilados a los clientes. Al final de su vida el producto es recuperado por la empresa y retorna al banco de materiales, el cual los descompone en nutrientes técnicos, evitando que se pierdan los aditivos y las sustancias que se incorporan al material de base y logrando así que sean realmente nutrientes técnicos. El banco controla la información sobre los procesos que sufren los materiales con el fin de que no se degraden durante su ciclo. Esta estructura cooperativa genera ventajas adicionales a sus miembros: facilita la colaboración entre las empresas en otros campos, debido a la confianza que se genera; comparten el conocimiento creado por la investigación y por el funcionamiento del sistema; y pueden dar lugar a un logotipo que las identifique en el mercado (Braungart *et al.*, 2008). El gráfico 3 explica el funcionamiento del sistema de un IMP.

La creación de sistemas como este tiene dos importantes obstáculos: el requisito de que las empresas no vendan sino que alquilen los productos, para así controlar mejor el metabolismo técnico, y la creación del banco de materiales. Pero pueden ser superados con la creación de un sistema de empresas que, sin cumplir estos requisitos, pueda funcionar razonablemente bien en la aplicación del concepto "de la cuna a la cuna". En el nuevo sistema las empresas no se verían obligadas a mantener la propiedad de los productos, en su lugar deberían crear un sistema de recogida de productos al fin de su vida y de reciclado-reutilización. Estas labores podrían ser realizadas por una o varias empresas.

GRÁFICO 3

FLUJOS DE MATERIALES EN EL CONTEXTO DE UNA IMP COMUNIDAD



FUENTE: BRAUNGART *ET AL.* (2008: 1347).

4. SIMBIOSIS INDUSTRIAL

El concepto constituye (como en tantos otros casos) una traslación del concepto de simbiosis de la biología. En ella, la simbiosis se refiere a los intercambios entre especies de materiales, energía e información que son beneficiosos para ellas. Se define simbiosis industrial como "la colaboración entre empresas que se traduce en intercambios y gestión conjunta de recursos tales como energía, agua y materiales, así como la persecución de estrategias más amplias de desarrollo industrial sostenible" (Ashton, 2008: 35). Se considera que la simbiosis industrial es una de las manifestaciones de la EI: "La simbiosis industrial es parte de un nuevo campo llamado *ecología industrial*" (Chertow, 2008; el énfasis es de la autora).

Aunque en el siglo XIX y principios del XX existían fuertes relaciones de intercambio de materiales en algunos sectores productivos (entre los que destaca el sector cárnico), a finales del siglo XX asistimos al inicio de una revitalización y diversificación extraordinarias de tales experiencias. La colaboración se puede extender a tres ámbitos. Uno es el caso de que los subproductos y residuos de una empresa sean utilizados como recursos en los procesos productivos de otras. Otro es la utilización común de una infraestructura, que puede ser de generación eléctrica, de captación de agua, de tratamiento de la misma, de reciclado de subproductos (pallets, cartón, papel, plásticos, etc.). El tercero se refiere a la provisión conjunta de servicios, como información, transporte, alimentación, etc. (Chertow, 2008). La colaboración se ve facilitada por la proximidad de las empresas, así que la mayor parte de las relaciones simbióticas se producen entre empresas que se encuentran dentro de un parque industrial o en un municipio. Pero son frecuentes los casos de simbiosis a escala regional, ya que a nivel local no se suelen encontrar empresas capaces de utilizar ciertos residuos. A partir de la escala regional disminuyen drásticamente los intercambios por la distancia entre las empresas, que genera costes de transporte prohibitivos. La proximidad no solo actúa como un factor de reducción de costes de transporte, sino que también facilita el conocimiento y la confianza mutua entre los directivos empresariales. Las relaciones simbióticas desbordan con frecuencia el ámbito empresarial. Veremos que con creciente intensidad los flujos de residuos de las ciudades (y en Asia también de las áreas residenciales que suelen existir en los parques industriales) entran en el flujo simbiótico de los sistemas industriales. Además, es muy frecuente que tales sistemas simbióticos integren al sector agrícola y al pesquero, como proveedores de materias primas, y como recicladores de los residuos bióticos y utilizadores de las energías residuales de los procesos industriales.

El desarrollo de la simbiosis industrial se debe a muchos factores: la existencia de grandes empresas que generan abundantes residuos; la existencia de empresas con

necesidades comunes (de agua, energía, aire comprimido, etc.); la existencia de elementos culturales (práctica de cooperación, sentido comunitario, conciencia ecológica, etc.); la propiedad y gestión pública de las zonas industriales; el aislamiento de algunas zonas; las políticas de sostenibilidad de los gobiernos; la existencia de una alta diversidad del tejido productivo; y, cada vez más, la escasez de recursos.

En Kalundborg (Dinamarca) la obligación de eliminar los vertidos de lodos al mar de residuos de la empresa farmacéutica supuso que le fuera más rentable regalarlos a los agricultores que gestionarlos como residuo. La directiva comunitaria sobre grandes centros de combustión obliga a reducir las emisiones ácidas, por lo que la planta eléctrica se vio en la necesidad de utilizar filtros y buscar empresas que necesitasen los subproductos del filtrado. La escasez de agua fue un detonante de la creación de relaciones simbióticas en Kalundborg, como lo ha sido en Guyama (Puerto Rico). El aislamiento físico ha sido importante en Kalundborg. Ha sido un factor muy importante la alta diversidad en Estiria (Austria) y en New Halifax (Canadá). En muchas de las experiencias la combinación de escasez y de tradición de cooperación ha impulsado las experiencias simbióticas.

Por último, aunque la experiencia nos muestra múltiples casos exitosos de simbiosis espontánea, algunos autores muestran que los casos de simbiosis planificada no está dando resultados positivos. El caso más citado es el fracaso del programa de 15 ecosistemas industriales por parte del Consejo Presidencial de Desarrollo Sostenible en la presidencia de Clinton. Pero la iniciativa careció de bases sólidas. Por el contrario, la experiencia europea, y sobre todo la china, muestran resultados muy importantes. Posiblemente influyen sus culturas de intervencionismo político, que no existe en EE UU. Por otro lado, antes de emitir un diagnóstico es necesario constatar que el desarrollo temporal de la simbiosis industrial es muy lento. En Kalundborg solo se establecieron siete intercambios en los primeros veinte años de la experiencia (Chertow, 2008, 2009). Pero resulta evidente que la escasez de recursos materiales va a impulsar extraordinariamente la simbiosis industrial.

5. ECOSISTEMAS INDUSTRIALES

5.1. CONCEPTOS Y PREMISAS

Tal como es habitual en experiencias nuevas que nacen en territorios y circunstancias muy dispares, nos encontramos con una gran variedad de términos para nombrar las relaciones simbióticas entre empresas (y a veces entre empresas y ciudades). Se han venido utilizando los términos de *ecosistemas industriales*,

parques ecoindustriales, *ecoparques industriales* o simplemente *ecoparques*, *parques ecoindustriales virtuales*, *sistemas de intercambio de productos*, *redes ecoindustriales*, *ecociudades, redes de simbiosis industrial, redes regionales de simbiosis industrial, redes ecoindustriales regionales* y otros muchos más. Sin embargo, con el tiempo se ha producido una simplificación en el número de términos utilizados y también en los conceptos identificados con términos diferentes. Al final de la primera década del siglo XXI se llegó al uso general de los términos de parque ecoindustrial (PEI), que es el más usado en Norteamérica y Asia, y de ecosistema industrial, utilizado en Europa y cada vez más en Norteamérica. Además, se ha producido la convergencia básica entre ambos en el sentido de que el elemento principal es la simbiosis. En el concepto de ecosistema industrial siempre ha sido así, pero no en los conceptos de ecoparque, de parque ecoindustrial y similares. Ahora, tal y como afirman Geng *et al.* (2009: 16), los PEI "enfatizan el establecimiento de una red de simbiosis industrial compuesta por empresas variadas". De todas formas, hay que resaltar que el concepto de parque industrial es diferente en Asia y Occidente; coinciden en que se trata de una parcela de suelo reservada por las autoridades para el desarrollo industrial, pero en Asía la propiedad del parque es pública e incluye una autoridad que lo gestiona: planifica su desarrollo, impone requisitos de entrada y ofrece servicios (Geng *et al.*, 2009: 16). Este elemento es muy interesante, porque varios países asiáticos están trabajando para convertirlos en PEI.

Pero este término resulta incapaz de abarcar los múltiples casos de simbiosis. Al centrarse en el ámbito de un parque industrial, quedan fuera otras relaciones simbióticas, especialmente tres: las locales, las regionales y las que integran los flujos de materiales y energía de las ciudades y de las industrias. Por eso los partidarios de este término se ven en la necesidad de acuñar nuevos conceptos para describirlas. Para describir los casos de simbiosis en el marco regional se usa el término de parques ecoindustriales virtuales, simbiosis industrial regional o redes ecoindustriales regionales. Por otro lado, se suelen denominar ecociudades a los casos de ciudades que impulsan las relaciones simbióticas entre el ámbito urbano y el industrial en el marco de estrategias de sostenibilidad (Geng *et al.*, 2009: 16).

A causa de las citadas limitaciones de los parques para integrar la rica variedad de experiencias existentes, nos inclinamos por el término ecosistema industrial, porque resalta la importancia de la dimensión simbiótica y porque permite recoger la amplia gama de tipos de simbiosis. Se puede aplicar a cualquier área geográfica (parque, municipio, región, etc.) y se pueden nombrar de las siguientes formas: parque ecosistémico, ecosistema municipal, ecosistema regional. En el caso de integrar los flujos de las ciudades y de las industrias, podemos nombrarlo como

ecosistema urbano-industrial. Además, no excluye otras actuaciones ambientales necesarias para la sostenibilidad (promoción de la construcción bioclimática, contribución a la conservación y regeneración del entorno natural, utilización de energía renovable, etc), sino que constituyen elementos imprescindibles de los ecosistemas industriales desarrollados (Bermejo, 2005). A partir de ahora utilizaremos en exclusiva el término ecosistema industrial (con los correspondientes adjetivos para indicar las variaciones existentes), a pesar de que muchas de las experiencias analizadas lleven el nombre de PEI[3].

Al igual que los ecosistemas naturales, "los ecosistemas industriales están formados por una red de conexiones basada en el reciclado y un uso adaptativo de materiales" (Chestow, 2009: 7). Como se trata de imitar a los ecosistemas, al igual que la ecología estudia las características de los mismos (potencial, conectividad y panarquía), en principio, parece pertinente analizar los ecosistemas industriales mediante los mismos instrumentos. Sin embargo, hay una serie de tareas previas que se deben realizar, como lograr un consenso sobre las relaciones que pueden ser consideradas como simbióticas y sobre los elementos simbióticos mínimos que debe tener un ecosistema industrial. A pesar de ello, hay un consenso en que las relaciones de la cadena de producto no deben ser contabilizadas y en que se considera como relación simbiótica el uso compartido de infraestructuras. Los estudios de simbiosis industrial cuantifican las relaciones simbióticas existentes, lo cual supone analizar el grado de conectividad. E. van Berkel la define como "el número de transferencias físicas y el número de empresas involucradas" y cuantifica la conectividad de diferentes ecosistemas industriales. Gladstone (Australia): 3 relaciones y 6 empresas; Kwinana (Australia): 47 relaciones y 22 empresas; Guitang (China): 5 relaciones y 5 empresas; Ulsan (Corea del Sur): 9 relaciones y 12 empresas; Kawasaki (Japón): 14 relaciones y 9 empresas (van Berkel, 2009).

El interés por (y el desarrollo de) los ecosistemas industriales empieza en 1989. Este año se publica el citado artículo de Frosch y Gallopoulos en la revista *Scientific American* y se "descubre" que en Kalundborg, una pequeña población danesa, se había ido construyendo un ecosistema industrial durante los treinta años anteriores. Esta experiencia se convierte en objeto de estudio y de imitación, pero también estimula el descubrimiento de otros ecosistemas industriales. Y diversos estudios sobre la simbiosis nos han ido mostrando múltiples experiencias creadas espontáneamente, aunque este término no sea muy exacto, porque veremos que influyen en su creación múltiples factores exógenos. En China, la empresa azucarera del grupo Guitang; en Australia Occidental, el área de Kwinana, dedicada a la producción metálica. Fue descubierto por un estudio impulsado por el WBCSD, que constató más de cien relaciones simbióticas. Schwardz y Steininger, al estudiar las

relaciones simbióticas de la provincia austriaca de Estiria, llegaron a la conclusión de que existía un ecosistema industrial de ámbito regional de gran complejidad y diversidad. En Finlandia, Korhonen y sus colegas descubrieron otro en la ciudad de Jyvaskyla. En Carolina del Norte, el Consejo de Gobernadores de la región *Triangle J* impulsó un inventario de empresas y de las relaciones simbióticas existentes con el fin de crear un *Industrial Ecosystem Development Project.* Analizaron 182 empresas y descubrieron que el 36% estaban involucradas en relaciones simbióticas. Casos semejantes se han dado en Gladstone (Australia), en Guayama y Barceloneta (Puerto Rico), en los parques industriales de Burnside y Alberta Heartland (Canadá). Aparte del descubrimiento de ecosistemas industriales maduros, se han localizado numerosas relaciones simbióticas que constituyen "precursores" de futuros ecosistemas industriales (Chertow, 2007).

Es muy difícil estimar la cantidad y calidad de los ecosistemas industriales existentes, pero resulta evidente que estas iniciativas se están extendiendo rápidamente, aunque el avance de cada una de ellas suele ser lento. Lowe (2001*a*: 8) estima que al menos se estaban desarrollando 40 en EE UU y otros 60 en el resto del mundo. Pero esta estimación parece baja. Según Morikawa (2001), Japón tenía 60 ecosistemas operando en diferentes grados de desarrollo, pero este número parece reducido si se tiene en cuenta que el autor declara la existencia de 48 ecosistemas agroindustriales a partir de fábricas de cerveza y de bebidas alcohólicas. Proctor y otros (2002) citan 21 ecosistemas europeos y el Departamento de Geografía de la Universidad de Hull (Gran Bretaña) describe 30, aunque uno ha fallado, pero su lista no incluye algunos situados en Suecia, Finlandia, Holanda, etc. A esto habría que añadir numerosas experiencias en el sudeste asiático. Los Gobiernos de Tailandia, Corea del Sur y Filipinas están desarrollando estrategias de promoción de los ecosistemas industriales. En China el gobierno los está desarrollando dentro de su estrategia de promoción de una economía circular. Se constatan más de 100 proyectos, de los que 26 han sido elegidos para convertirse en ejemplos para el resto y, además, realizarán una labor de formación para todo el país (Geng *et al.*, 2008). Por ello, es razonable estimar que el número total supere las 300 experiencias, con grados de madurez muy diversos.

5.2. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE EXPERIENCIAS

No es fácil clasificar las experiencias de ecosistemas industriales, debido a la alta variedad de las mismas y porque no existe consenso entre los expertos sobre los términos ni sobre los conceptos. M. Chertow (2008) propone cinco tipos de ecosistemas industriales, siguiendo un estudio de la Universidad de Yale de 18

potenciales. El tipo 1 es el de intercambios de residuos. Normalmente realiza una tarea central un agente que recoge residuos sólidos urbanos que previamente han tenido una separación en origen, el cual, después de una posterior reclasificación y tratamiento, los vende a empresas que se encuentran en su mayoría en la región recolectora. En el tipo 2 los intercambios de materiales se realizan dentro de una instalación, empresa u organización (*holding*). En el tipo 3 los intercambios se realizan entre las empresas de un parque industrial. El tipo 4 se refiere a los intercambios de residuos entre empresas localizadas en un área pequeña, pero que no constituye un parque industrial. El tipo 5 se desarrolla a escala regional. El gobierno chino ha establecido tres categorías: grupos grandes de empresas pertenecientes a múltiples sectores; parques especializados en empresas del sector ambiental; y grupos de empresas de un solo sector o una sola empresa (*anchor tenant*) que generan un gran flujo de residuos que alimenta a otras empresas (Geng *et al.*, 2008: 17). La clasificación china pone el énfasis en el tipo de simbiosis y la de Chertow utiliza los criterios espaciales y simbióticos.

El factor determinante de una tipología de organizaciones empresariales simbióticas debe ser el de las relaciones que se establecen, y no la organización espacial, aunque esta puede facilitar los intercambios. Siguiendo el criterio de poner el énfasis en los tipos de relaciones simbióticas, descartaríamos el criterio de parque o de área pequeña (tipos 3 y 4 de Chertow) o de propiedad (tipo 2). Tampoco vemos sentido al segundo grupo del gobierno chino, por las razones expuestas anteriormente. El resto de los tipos resultan válidos, aunque insuficientes. Por eso proponemos la siguiente tipología de grupos de empresas: agroindustriales; que recuperan residuos sólidos urbanos y las que los usan; que aprovechan los residuos de una empresa o de empresas del mismo sector; sistemas complejos de empresas multisectoriales; sistemas urbano-industriales. Además, tendríamos los ecosistemas industriales regionales. Aquí rompemos la norma de los tipos de simbiosis, pero los grupos anteriores tienen carácter local y es necesario integrar la dimensión regional.

ECOSISTEMAS AGROINDUSTRIALES: El uso masivo de materiales bióticos se ve lastrado porque los procesos habituales transforman solo una pequeña fracción de la materia prima en materiales comercializables, con lo que se encarecen y dan lugar a la generación de enormes cantidades de residuos. Por ello las actividades agroindustriales tienen un gran potencial de aprovechamiento de residuos mediante la creación de ecosistemas industriales. El Instituto ZERI está diseñando y poniendo en práctica ecosistemas que aprovechan toda la materia prima.

El ecosistema agroindustrial pionero y que más se está aplicando es el que se basa en las fábricas de cerveza, que solo aprovechan el 8% de la cebada y generan grandes cantidades de agua residual (se consumen más de 20 litros de agua por litro de cerveza). Solo ocasionalmente se utiliza el cereal gastado para alimentar animales. Este ecosistema industrial aprovecha todos los residuos. Los cereales gastados son ricos en fibra y constituyen un excelente sustituto de la harina en la elaboración de pan. También se utilizan mezclados con paja para cultivar setas, las cuales transforman la lignina de las fibras en carbohidratos de alta calidad, que se destinan a la alimentación del ganado. El agua residual y los excrementos del ganado generan metano en un digestor y una solución nutritiva. El metano sirve para producir energía. La solución permite cultivar algas en estanques superficiales, que se utilizan para alimentar diferentes clases de peces en piscinas. La técnica utilizada es una versión mejorada de los ecosistemas que se han venido utilizando en China en los últimos 500 años. Existen variedades de este ecosistema tipo para adaptarlo a las condiciones y necesidades de cada región (Pauli, 1998: 62; 152 y ss.). Este ecosistema se ha puesto en práctica en Fiji, Tanzania, China y Namibia. ZERI también está promocionando la implantación de un ecosistema semejante a partir de los restos generados por el cultivo de café. Este sistema empezó a utilizarse en Colombia y posteriormente se ha extendido a Brasil y África (www.zeri.org). La metodología del ZERI ha sido probada en cincuenta sectores industriales por investigadores, empresarios, funcionarios y estudiantes en todos los continentes y ha sido aplicada en las islas japonesas de Yakushima y Okinawa en Japón, en la de Gotland en Suecia, en ciudades como Saitama en Japón y Mompox en Colombia (Thorpe, 1999: 10; Gardner y Sampat, 1999: 54).

China está transformando las plantas azucareras de propiedad estatal de la región autónoma de Guangxi (40% de la producción del país) de forma que se creen empresas que utilicen sus subproductos para producir alcohol, papel, componentes de cemento, energía, etc. La experiencia más avanzada es la del grupo Guitang, situado en la ciudad de Guigang. A partir de los residuos de la planta azucarera se desarrollan dos cadenas de productos. Una comprende una planta de alcohol, cuyos residuos sirven para producir fertilizantes. La otra está formada por una planta de pulpa de papel, la cual es utilizada por una papelera. El residuo de la planta de pulpa se emplea para producir cemento. Por último, el grupo colabora con los productores de caña de varias formas: dándoles apoyo técnico para incrementar su baja productividad; apoyando el desarrollo de la producción ecológica y vendiéndoles el fertilizante que produce. El grupo pretende desarrollar la producción de fructuosa, crear granjas ganaderas utilizando

las hojas de caña como pienso, plantas bioquímicas, etc. El desarrollo del ecosistema industrial ha inspirado a la ciudad de Guigang para aplicar una estrategia de sostenibilidad (Geng *et al.*, 2006; Chertow, 2009: 17).

Ecosistemas de empresas de un solo sector: Son empresas que generan un alto volumen de residuos que son aprovechados por otras. Nos encontramos con ecosistemas creados a partir de plantas térmicas, petroquímicas, refinerías, etc. Las refinerías producen una amplia variedad de productos a partir del petróleo generado, pero también importantes cantidades de residuos. No existe problema de venta con los productos de precio alto (combustibles, lubricantes y coque, por ejemplo), pero el aprovechamiento de los productos de bajo precio (como el alquitrán) requiere la proximidad de las empresas que los utilizan. Además, las refinerías se han convertido en los productores principales de azufre, por la desulfuración obligatoria de las gasolinas (Ayres, 2002: 44 y ss.). En la zona del canal navegable de Houston (Texas) se concentran muchas refinerías y empresas petroquímicas entre las que se ha venido creando una densa red simbiótica. El Value Park (Alemania) integra plantas petroquímicas y empresas de plásticos y servicios. Las plantas eléctricas están dando lugar a proyectos simbióticos en Guayana, Puerto Rico y Londonderry (New Hampshire). En Puerto Rico se están desarrollando en Guyama y Barceloneta. En el de Guyama se ha llegado a un acuerdo de construir una planta térmica refrigerada con aguas residuales del municipio y cuyo calor residual sería utilizado por una refinería. Después se han producido otros intercambios. Barceloneta tiene una de las más altas concentraciones del mundo de industria farmacéutica, cuya actividad se extiende a otros dos municipios. En total son 14 empresas del sector con unas 70 plantas. Se desarrollaron diversos intercambios: los disolventes usados se venden a empresas de pinturas y otras actividades (aunque después vuelven a la empresa productora), un residuo farmacéutico se vende como alimento de ganado, los lodos de la depuradora de aguas residuales se usan como fertilizante (Chertow, 2008, 2009; Ashton, 2008).

Ecosistemas formados a partir de empresas recuperadoras de residuos**:** Se construyen a partir de empresas que recogen residuos, los separan, desmontan y clasifican y que venden los materiales y productos remanufacturados a empresas del entorno. Un caso típico es el de las empresas que reciclan con residuos urbanos a partir de programas de reciclaje municipales y regionales. En Arecibo (Puerto Rico) se está creando un parque en el que están ubicadas empresas recicladoras: una papelera que usa papel reciclado, una pequeña acería que funciona con chatarra de hierro, una planta de recuperación de la materia prima de los neumáticos, una planta

de compost, una incineradora que produce electricidad a partir de los residuos no reciclados, etc. El Parque de Recuperación de Residuos de Cabezón, en California, alberga una planta eléctrica que quema biomasa residual recolectada en la región y otra de recuperación de neumáticos. Pretende integrar compañías recicladoras de metales, de compostaje, de gasificación de biomasa, de recuperación de aceites industriales, de reciclado de materiales de construcción, de producción de plásticos y caucho y un criadero orgánico de camarones. Otros ejemplos son aquellos ecosistemas en los que las empresas fundamentales se dedican a la recogida de residuos metálicos, a su recuperación mediante el desmontaje de productos, formando el resto del ecosistema las empresas que utilizan los citados materiales, como las empresas de fabricación de metales (Ehrenfeld y Chertow, 2002).

Ecosistemas complejos multisectoriales: El parque de Naroda (situado en la ciudad india de Ahmedabad-Gujarat) está creando uno de los ecosistemas más complejos. Tiene 700 empresas, 35.000 empleados y opera en un territorio de 30 Km^2, que se dedican a actividades químicas, farmacéuticas, textiles, de tintes, de ingeniería y de procesamiento de alimentos. Un análisis de cerca de 500 empresas ha identificado 20 tipos de simbiosis rentables. Algunas cementeras están empezando a utilizar el yeso residual producido por 19 empresas de tintes como materia prima de la producción de cemento. Las empresas de tintes han desarrollado nuevos procesos para evitar la producción de óxidos de hierro, que son peligrosos. Están estudiando la creación de un instituto de simbiosis (Lowe, 2003: 347 y ss.).

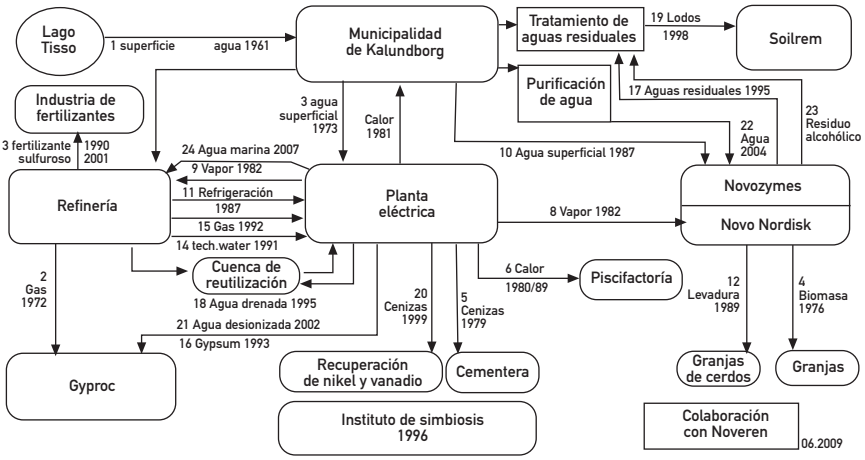
El parque Burnside en Halifax (Canadá) es uno de los más grandes y avanzados. Fue creado a principios de la década de los setenta por el Municipio de Halifax, el cual establece las condiciones de asentamiento, vende las parcelas a las empresas y provee las infraestructuras necesarias. Alberga a 1.300 empresas que realizan 34 actividades diversas. Entre sus objetivos están el mejorar el entorno natural y mejorar la gestión ambiental de las empresas (se les exigen la obtención de la ISO 14.001). Está dotado de un Centro de Ecoeficiencia (en el que colaboran varias universidades) que promueve la implantación de tecnologías limpias y la reutilización de residuos. La autoridad del parque promociona la localización de empresas recolectoras y recicladoras de residuos, de recuperación de pintura, de tratamiento de residuos peligrosos. En 1998 más del 15% de las empresas se dedicaban a estas tareas (Coté y Crawford, 2003).

Ecosistemas urbano-industriales: Es muy frecuente, sobre todo en Asia, que los municipios se propongan estrategias de reforzamiento de la simbiosis entre las empresas localizadas en los mismos, con el objetivo último de convertirlos

en ecosistemas industriales complejos. Y empieza a ser habitual que estos proyectos sean parte de un proyecto de sostenibilidad de la ciudad. También es frecuente que las zonas industriales integren áreas residenciales y los servicios correspondientes. Estas experiencias tienen una dimensión que desborda el marco empresarial, por eso las denominamos ecosistemas urbano-industriales. Así que los ecosistemas empresariales se van convirtiendo en parte de una red más compleja de ámbito municipal. El ejemplo más conocido, y mejor estudiado, de ecosistema industrial complejo es el de la ciudad danesa de Kalundborg (20.000 habitantes) y por ello lo analizaremos con cierto detalle. Desde 1972 se ha venido tejiendo una compleja red de intercambios entre empresas localizadas en un radio de 2 millas que, si bien muchos se produjeron de forma espontánea, otros son el resultado de la implantación de normas ambientales más exigentes.

GRÁFICO 4

SIMBIOSIS INDUSTRIAL EN KALUNDBORG (DINAMARCA)



FUENTE: WIDMER Y ROCHAT (2009), ASPO SUMMIT (ALCATRAZ), EMPA.

En el ecosistema de Kalundborg desempeñan tareas claves: Asnaes, la mayor planta eléctrica danesa; Statoil, una gran refinería de la multinacional noruega del mismo nombre; Novo Nordisk y Novozymes, dos plantas de la multinacional farmacéutica danesa Novo Nordisk, que es líder mundial en la producción de insulina y enzimas; y el municipio de Kalundborg (Ehrenfeld y Chertow, 2002: 335 y ss.). En el gráfico 4 se representan las empresas involucradas, así como sus flujos y los años en que se crearon.

Asnaes ocupa la posición central en el ecosistema y junto a Novo Nordisk, Novozymes, Giproc, Noveren, Soilrem y el Municipio desarrolla la gran mayoría de los intercambios. Ha conseguido reducir el calor residual desperdiciado en un 80% mediante sus exportaciones a empresas e instituciones del entorno. Entre 1980 y 2007 ha desarrollado un sistema complejo de intercambio de calor (vapor de agua) y de agua. El Ayuntamiento de Kalundborg ha logrado la sustitución de la mayor parte de las calderas por una red de vapor de agua. Asnaes también envía vapor de agua a la refinería Statoil y a Novo Nordisk, y agua caliente a una piscifactoría. En 1993 instaló un sistema de depuración de gases que produce sulfato de calcio (yeso) y lo vende a Gyproc (empresa dedicada a la producción de tableros de yeso). Por último, vende cenizas y escorias para la fabricación de cemento y firmes de carretera. El único residuo que generaba Statoil era el llamado gas de refinería, ahora una parte lo utiliza para producir un fertilizante líquido y el resto lo vende a Asnaes para que lo queme. Vende butano a Gyproc, para lo cual construyó un gasoducto. Statoil devuelve a Asnaes el vapor de agua en forma líquida de dos formas: agua de refrigeración, que Asnaes depura antes de su uso; agua depurada lo suficiente como para que Asnaes la pueda utilizar para limpieza. Novo Nordisk produce dos tipos de residuos: unos lodos ricos en nutrientes y levadura sobrante de la producción de insulina. Los lodos son distribuidos gratuitamente (mediante tuberías y camiones) a unos mil agricultores de la zona. La levadura se vende a los ganaderos como alimento de alta calidad. Soilrem utiliza los lodos de la depuradora de la ciudad en la recuperación de suelos contaminados. Por último, Noveren es la empresa de RSU de varios municipios (Widmer y Rochat, 2009).

Aunque las virtudes de la experiencia son indudables, ésta presenta importantes deficiencias desde el punto de vista de la sostenibilidad. Las empresas clave del ecosistema, como Asnaes y Statoil, se basan en combustibles fósiles. El ecosistema es excesivamente simple y le falta la redundancia que es habitual en los ecosistemas naturales. Sin embargo, el clima de cooperación y los beneficios que produce han dado gran estabilidad al sistema. Un ejemplo es que Novo Nordisk y Statoil afirman que, en el caso de que Asnaes deje de suministrarles vapor de agua, construirán conjuntamente una planta para generarlo (Ehrenfeld y Chertow, 2002: 342).

El gobierno japonés está impulsando desde principios de la década pasada ecosistemas urbano-industriales. El Ministerio de Comercio Internacional e Industria (MITI) financia hasta el 50% de los costes del proyecto (Morikawa, 2001; Chiu, 2001). China está desarrollando 53 Zonas de Desarrollo Económico y Tecnológico, que integran residencias con sus correspondientes servicios y

empresas de alto contenido tecnológico. La de Dalian, que integra 200.000 habitantes y 1.150 empresas, tiene el objetivo de mejorar la situación ambiental actuando sobre 66 vectores de degradación detectados. Se está avanzando en la eficiencia energética, en la depuración y reciclado de agua y en el reciclado de residuos. Pero esta última actividad se ve lastrada por la escasez de empresas necróforas y descomponedoras (Yong y Coté, 2003).

ECOSISTEMAS REGIONALES: Hemos señalado que en Jyvaskyla y en Estiria se han creado ecosistemas industriales espontáneamente. A pesar del mayor potencial de complejidad de los ecosistemas regionales, se han creado algunos sencillos. En el Sistema de Suministro Energético de la región de Jyvaskyla (Finlandia) se utilizan los residuos madereros de la región para alimentar una central eléctrica, que también utiliza turba. Su energía residual se emplea en viviendas, servicios y empresas industriales (especialmente suministra vapor a una empresa papelera, que también utiliza su propio vapor). Las cenizas de la central eléctrica son utilizadas en el proyecto "Tierra Verde", el cual promueve la jardinería. Este ecosistema reduce la aportación de combustibles externos en un 40%. En la región austriaca de Estiria los investigadores se encontraron con intercambios de cientos de miles de toneladas anuales, incluyendo yeso, escorias, serrín, papel y madera. El ecosistema está formado por varias cementeras, que utilizan residuos de agroforestales y de mataderos, de empresas lecheras, etc. (Chertow, 2008).

El desarrollo del ecosistema industrial de la región Europoor/Botlek (Holanda), que comprende un área cercana al puerto de Rotterdam, es una experiencia planificada y ubicada en la mayor región industrial del país. Está siendo dirigido por un grupo de representantes de las empresas, el gobierno, la universidad y grupos ecologistas. El primer programa INES (INdustrial EcoSystem: 1994-1999) tuvo dos fases. En la primera se obtuvo información, se formó en sostenibilidad a los protagonistas y se identificaron los flujos más importantes de recursos, productos y residuos. En la segunda fase se analizaron los aspectos ambientales y económicos identificaron, de los que se seleccionaron tres para profundizar en el análisis y para ponerlos en práctica: un sistema de tratamiento conjunto de lodos biológicos; un sistema conjunto de aire comprimido; intercambio de agua entre un grupo de compañías. En el segundo programa (1999-2003), denominado INES Mainport, se han definido la visión y la misión a largo plazo, se han ido consolidando los proyectos de la fase anterior y promocionando nuevos, algunos de los cuales ya son operativos, como el uso de energía en cascada. A pesar de lo dicho, el desarrollo del ecosistema es muy lento (Baas y Boons, 2004).

La región Rhine-Neckar (de 50x50 km), que contiene varios ecosistemas locales (entre los que destaca por su madurez el de Pfaffengrund), está desarrollando un ecosistema regional. Para ello se creó UKOM, el organismo coordinador (que está formado por representantes de la patronal, de la universidad y de la administración pública) y un programa informático que facilita la información necesaria para poder realizar los intercambios de residuos. En la región están ubicadas algunas empresas grandes (BASF, Roche, ABB, etc.). Es un ejemplo de ecosistema industrial promovido exógenamente e inspirado en el concepto de EI, pero aún está muy lejos de la madurez (Adamides y Mouzakitis, 2008). El Consejo de Gobiernos Triángulo J, decidió a mediados de los noventa promover las relaciones simbióticas en tres niveles de actuación, en una región compuesta de seis condados en Carolina del Norte. Pero, como hemos dicho, el estudio previo encontró la existencia de un alto grado de relaciones simbióticas. Posiblemente este hecho ha permitido que en los cuatro primeros años del proyecto se haya desarrollado la utilización de residuos no solo en la región, sino también con empresas del resto de EE UU, y se hayan creado tres nuevos parques ecoindustriales (Kincaid, 2003: 317 y ss.).

La región sueca de Landskrona es un caso de promoción endógena-exógena. Es una región en declive económico que se quiere revitalizar a partir de los esfuerzos conjuntos de los agentes regionales y del gobierno sueco. Participan en el proyecto 21 empresas de tamaños muy diversos de sectores varios (metal, química, imprenta, componentes del automóvil, etc.). El nivel de colaboración y de conciencia ambiental es muy alto. Sin embargo, las actuaciones simbióticas se limitan de momento a la utilización de calor residual para la calefacción urbana, la gestión colectiva de residuos, cooperación en transporte y en logística, uso de residuos no procesados y uso de tecnologías de captación de energías renovables (Adamides y Mouzakitis, 2008).

NOTAS

1. En la CFM se tienen en cuenta los flujos de energía exosomáticos en toneladas. Es decir, se incluyen los flujos de energía que no están asociados al metabolismo de los seres vivos y cuyo uso final es la producción de electricidad y calor (toneladas de carbón, petróleo, etc.).
2. Las partidas de memorándum incluyen, en el lado de los *inputs*, el aire (oxígeno y nitrógeno) utilizado en procesos de combustión y respiración y, en el de los *outputs*, las emisiones de vapor de agua procedentes de la quema de combustibles y de CO_2 de la expiración humana y del ganado.
3. Este texto es una versión reducida, pero actualizada, del capítulo 9 del libro *La gran transición hacia la sostenibilidad* (Bermejo, 2005).

CAPÍTULO 18

BASES PARA UNA ESTRATEGIA INTEGRADA DE PRODUCTO ECOEFECTIVA

En este capítulo analizaremos la llamada política integrada de producto (PIP) y sus insuficiencias, y planteamos las bases de una estrategia integrada de producto (EIP) que intenta superarlas.

1. POLÍTICA INTEGRADA DE PRODUCTO

ASPECTOS GENERALES

Los gobiernos que han desarrollado políticas de productos han pasado, en general, por las siguientes etapas: 1) reducción de los residuos visibles (legislación sobre baterías, envases, etc.); 2) potenciación de la información sobre las características ambientales de los productos (ecoetiquetas, guías de consumo, etc.); 3) impulso a la innovación ecológica (programas de ecodiseño: reciclabilidad de los materiales, eficiencia energética, etc.); estímulo del mercado de productos verdes (compra verde pública, ecoetiquetado, etc.; 4) integración de las políticas anteriores. Según la Comisión, "la PIP busca minimizar los impactos ambientales negativos analizando todas las fases del ciclo de vida del producto y adoptando medidas donde esos impactos pueden ser reducidos mejor y más eficientemente" (SEC(2009) 1707 final). La PIP estudia la cadena

de producto, que es un conjunto ligado de flujos de materiales o productos con el fin de realizar un cierto servicio. Incluye la extracción, producción, consumo, gestión de residuos y transporte. Así que "los productos son vistos como lentes a través de las cuales todas las políticas ambientales se deben focalizar" (CE-DGXI, 1998*a*: 4). Se analizan los productos de atrás para adelante y se diseñan paquetes de medidas en cada fase (IPP Building Blocks) dirigidos a impulsar la creación de productos con menor huella ecológica, crear/mejorar los mercados para estos productos, transmitir información a lo largo de las cadenas de los productos, etc. Todos estos elementos o paquetes de medidas conforman una estructura integrada. La PIP tiene el indudable mérito de representar una política sistémica para hacer frente a un problema que tiene el mismo carácter.

En el entorno del cambio de siglo, los Países Bajos, Suecia, Dinamarca, Alemania y Austria tenían políticas integradas y presionaron a la UE para que la aprobara. Pero, a pesar de que el Consejo Europeo (2001) adoptase oficialmente esta política, al formar parte de la EDS, y de que la Comisión elaborara el mismo año un Libro Verde sobre la materia, la UE no fue capaz de aprobar el Libro Blanco previsto para 2002. En su lugar, elaboró la comunicación "Política Integrada de Producto" en 2003, que se basa en cinco principios: enfoque de ciclo de vida; trabajar con el mercado; amplia participación de los agentes involucrados; mejora continua de los productos; uso coordinado de los instrumentos (COM(2003)302). El Consejo de octubre de 2003 incluyó los principios de la PIP en su Resolución, pero el Parlamento lamentó que solo fuera "una guía limitada sobre cómo mover a la sociedad en dirección de verdaderos y sostenibles sistemas de desarrollo de producto y diseño" (Resolución(2004)0349). La Comisión viene organizando dos reuniones al año de los agentes involucrados y ha promovido varios informes de productos (SEC(2009)1707 final).

El Libro Verde defiende rebajas de impuestos a los productos ecológicos ["un primer paso podría consistir, por ejemplo, en la aplicación de tipos de IVA reducidos a los productos que llevan la etiqueta ecológica europea" (Comisión Europea, 2001*a*: 11)]. La citada Comunicación de 2003 declara que la "Comisión no desarrollará de momento iniciativas para aplicar un IVA reducido a los productos que tengan la ecoetiqueta de la UE", aunque se muestra partidaria de "aplicar incentivos apropiados para que el mercado se mueva en una dirección más sostenible" y propone determinar el nivel de calidad ambiental que merecerían tales incentivos (COM(2003) 302). El Plan de Acción sobre Consumo y Producción Sostenible informa que "la Comisión ha impulsado estudios para analizar las ventajas e inconvenientes de posibles mecanismos de incentivos fiscales a escala de la UE" (COM(2008)397 final). Sin embargo, "la PIP no parece haber impulsado [...]

recientemente el desarrollo en el campo de impuestos relacionados con el ambiente y con incentivos a escala de la UE" (SEC(2009)1707 final).Tampoco se avanza mucho en transparencia informativa. El Libro Verde declara que "un posible instrumento para aumentar la generación y la disponibilidad de información consiste en obligar o estimular a los fabricantes a facilitar datos clave a lo largo de la cadena del producto y hasta llegar a los consumidores" (Comisión Europea, 2001*a*: 14, 19). No se ha avanzado de forma importante en esta dirección.

Sin embargo, la UE ha aprobado, o está en vías de hacerlo, numerosas iniciativas que son desarrollos de una PIP, aunque se queden cortas. En la Comunicación sobre el estado de aplicación de la PIP, la Comisión considera que está integrada en el Plan de Acción sobre Consumo y Producción Sostenible (mejora permanente del ecodiseño, ecoetiquetado, compra pública verde, etc.), que la directiva de Ecodiseño fue una transposición de los principios de la IPP, que su visión de ciclo de vida aparece como un mandato legal en la directiva base de residuos, en las Estrategias Temáticas sobre Uso Sostenible de Recursos Naturales, etc. (COM(2009)693 final). Pero tales medidas carecen, en general, de profundidad y de integración: "La mayor parte de la legislación sobre productos tiene en cuenta solo algunos de los aspectos del ciclo de vida de un producto" (SEC(2009)1707 final). Y, aunque estas políticas están reduciendo el impacto de cada producto y servicio, la proliferación de los mismos genera un empeoramiento de la situación, realidad que reconoce la Comisión: "La producción y uso de bienes y servicios está causando la mayoría de los impactos negativos sobre el ambiente. La situación está empeorando debido al creciente número de productos que están siendo consumidos en la UE" (COM(2009)693 final). Quizá por ello apenas se nombra la PIP. Solo Finlandia, Suecia, Bélgica y Polonia tienen estrategias sobre la materia, y solo Polonia y Bélgica usan el término PIP. Países pioneros, como Suecia y Dinamarca, no la nombran, aunque integran elementos de ella en las estrategias de producción y consumo sostenible (SEC(2009)1707 final).

Por último, la PIP pretende desarrollarse en el marco del sistema económico actual, lo que se traduce en múltiples obstáculos, porque tal sistema genera dinámicas contrarias a sus objetivos. A veces los documentos comunitarios los muestran, pero las acciones propuestas para superarlos no suelen pasar de frases voluntaristas. Por ejemplo, una Comunicación sobre residuos comienza señalando algunos elementos estructurales, de entre los cuales destacan: la cantidad y variedad de productos está aumentando como consecuencia del incremento de las rentas; se multiplican los bienes comercializados; por ello las cadenas de producto son más largas y complejas. Estos factores "determinan la necesidad de introducir una dimensión de producto a la política ambiental" y esta

dimensión es la que denomina "Estrategia PIP", porque "reforzará la coordinación y coherencia entre los instrumentos relacionados con el ambiente de las políticas de producto existentes y futuros" (COM(2003)250 final). Pero no explica las razones de tal afirmación.

1.2. CONTRIBUCIÓN A LA PIP DE LA RESPONSABILIDAD AMPLIADA DEL PRODUCTOR

Se entiende por responsabilidad ampliada del productor (RAP) la que desborda el marco habitual de los vertidos, emisiones y tratamiento de residuos sólidos con exigencias nuevas. La Directiva sobre residuos (2008/98/CE) le da rango de ley a la RAP al incluirla y considera que esta política "constituye uno de los medios para poyar el diseño y fabricación de bienes que tengan plenamente en cuenta y faciliten el uso eficaz de los recursos durante todo su ciclo de vida, incluidos su reparación, reutilización, desmontaje y reciclado". En teoría, son tres los campos de responsabilidad: la económica, la física y la informativa. La económica supone que los productores son obligados a asumir los costes de aplicar alguna norma ambiental. La física se da cuando los productores conservan la propiedad a lo largo del ciclo de vida del producto y, por tanto, son responsables de su tratamiento final. La responsabilidad informativa obliga al productor a suministrar la información relevante sobre los aspectos ambientales de los procesos y productos. Los gobiernos están aplicando con muy diferentes grados de exigencia las responsabilidades económica e informativa, pero no la física. Y parece poco probable que obliguen legalmente a las empresas a ejercer esta responsabilidad. Por eso no la incluimos aquí, sino en el apartado 2. En cualquier caso, la responsabilidad física constituye una de las políticas imprescindibles de una EIP.

RESPONSABILIDAD ECONÓMICA: Desde la década de los noventa algunos Estados han aprobado leyes que obligan a los fabricantes a hacerse cargo de sus productos o de los elementos de los mismos (como embalajes) al final de su vida y a reciclarlos. También se empieza a prohibir la venta de productos que no alcancen unos mínimos de calidad ambiental. Esto supone que asumen los costes de tales medidas. Sin embargo, no siempre suponen costes.

La ley alemana Verpak V es pionera en el caso de la responsabilidad sobre el tratamiento de final de embalajes. Entró en vigor en 1993 y obliga a los fabricantes a hacerse cargo del embalaje de sus productos y a reciclarlo. Esto les impulsó a crear una sociedad encargada de hacerlo, a la que debían pagar

según el volumen de material. Se creó así un sistema dual de recogida: el del público y el de las empresas. El ratio de reciclaje aumentó del 12% en 1992 al 86% en 1997. El índice de reciclado de plásticos se multiplicó por 19. Pero también el embalaje se hizo más ligero: disminuyó en un 17% en el periodo 1991-1997 (Gardner y Sampat, 1999: 54).

Esta política ha adquirido una dimensión amplia a partir de que la UE ha comenzado a aprobar directivas que obligan a los fabricantes a recoger y reciclar porcentajes crecientes con el tiempo de algunos productos (especialmente automóviles y aparatos eléctricos y electrónicos) al final de su vida útil, y a eliminar sustancias peligrosas en los bienes nuevos. Japón está impulsando políticas semejantes. Estas políticas se complementan con otras encaminadas a mejorar la eficiencia energética de los productos en la UE como respuesta a su preocupación sobre el cambio climático. En este campo destacan la directiva de ecodiseño de aparatos relacionados con la energía (2009/125/EC), de eficiencia energética de los edificios (2002/91/EC) y las que obligan a reciclar los automóviles (2005/64/CE), los aparatos eléctricos y electrónicos (2002/96/EC). Las dos últimas directivas citadas obligan a reciclar una proporción alta y creciente de los automóviles y los aparatos eléctricos y electrónicos y a eliminar algunas sustancias peligrosas. Además, obligan de forma indirecta a mejorar el desmontado de los productos, porque si éste es complicado, genera costes mayores a las empresas encargadas del reciclado, que son repercutidos en los fabricantes. También obligan a mejorar el diseño las exigencias públicas de eficiencia energética de edificios, coches, aparatos eléctricos y electrónicos, etc. A pesar de que la política de RAP está consiguiendo algunos resultados notables en reciclado y eficiencia energética, no constituye una apuesta decida por la sostenibilidad. Se trata de indicativas puntuales y a menudo débiles. La directiva de aparatos eléctricos y electrónicos no está consiguiendo cotas importantes de reciclado, ni evita el comercio ilegal de residuos electrónicos. Esto llevó a que la Comisión propusiera su revisión a finales de 2008. Y, aunque se supone que identifica los dos problemas indicados, para el EEB, las propuestas de revisión no constituyen más que "pasos tímidos" (www.eeb.org). La directiva de ecodiseño de aparatos relacionados con la energía "solo tiene en cuenta el 31-36% de los impactos ambientales de los productos" (COM(2008)397 final).

Aparte de la política de obligar a las empresas a reciclar sus productos, algunos gobiernos utilizan otras, especialmente los depósitos retornables y el pago por adelantado de los costes del tratamiento final de los productos. En el caso de los depósitos retornables, los gobiernos exigen a las empresas que

cobren el depósito a los clientes y lo retornen cuando se devuelve el producto; en los casos de productos de larga duración, el depósito se retorna actualizado según la inflación. Dinamarca, Suiza y Suecia exigen depósitos retornables a los fabricantes y vendedores de pilas. Austria lo hace para lámparas fluorescentes y neumáticos. Corea del Sur lo aplica a baterías, envases de bebidas, televisores, lavadoras y lubrificantes. Taiwán lo aplica a botellas de PET. Austria lo aplica a los frigoríficos y Suecia a los coches. Numerosos estados de EE UU y provincias canadienses han establecido este sistema para los recipientes de bebidas y para los neumáticos (Gertsakis *et al*, 2002).

Más exigentes son las prohibiciones de los gobiernos de vender productos de baja calidad ambiental. Por ejemplo, como aplicación de la directiva de Ecodiseño, la Comisión aprobó en 2009 reglamentos que elevan escalonadamente en el tiempo los requisitos de eficiencia de motores, bombas utilizadas en la circulación forzada (sistemas de aire refrigerado, por ejemplo), frigoríficos y televisiones. Lo cual supone que muchos de los aparatos actuales no podrán ser comercializados en un futuro próximo. A modo de ilustración, en el caso de frigoríficos se prohíbe la venta de los de clase B e inferiores a partir del 1 de julio de 2010, para el mismo día de 2012 también los de la actual clase A y para 2014 solo permanecerán los de clase A+ y de superior eficiencia. Además, se empiezan a dar casos de prohibición de productos que se basan en ciertas tecnologías. La UE ha decido retirar del mercado de forma escalonada las bombillas incandescentes (SEC(2009)1707 final).

Responsabilidad informativa: Conviene diferenciar la RAP en información de la llamada Responsabilidad Social de las Corporaciones, que se refiere a que las empresas realicen una política de transparencia informativa. Hay múltiples iniciativas: Naciones Unidas y la OCDE han establecido criterios orientativos, hay certificaciones (como la establecida por ISO) y múltiples propuestas privadas de definición de los requisitos de transparencia informativa que deben cumplir. No obstante, tales informes son voluntarios y los elaboran las empresas, por lo tanto, carecen de la inspección de un organismo evaluador independiente. Hay casos de empresas que admiten ser evaluadas por organizaciones defensoras del medio ambiente (OCDE, 2008: 12, 13). Pero estos casos, tampoco entran en el ámbito de la RAP, porque esta responsabilidad es impuesta por el legislador.

Esta responsabilidad no es frecuente, aunque existen casos notables. En algunos países han sido aprobadas leyes que respaldan el derecho a conocer por parte de las comunidades las emisiones de las industrias, así como sus

captaciones de agua del subsuelo, de los ríos, etc. EE UU es líder en este campo desde que aprobó en 1986 la Ley de Planificación de Emergencias y del Derecho a Conocer de las Comunidades, que obliga a las empresas a realizar un Inventario de Generación de Tóxicos y a suministrar esta información. Con todo, esta ley es limitada porque no aporta información sobre los productos químicos que contienen los artículos de consumo ni sobre los impactos a lo largo de su ciclo de vida. Pero ha inspirado el desarrollo de políticas más avanzadas. La Ley de Reducción del Uso de Tóxicos de Massachusetts obliga a las empresas a realizar auditorías sobre materiales y a diseñar planes detallados sobre cómo reducir los materiales tóxicos y los costes de las diferentes alternativas posibles. Desde que se puso en funcionamiento no se ha construido ninguna incineradora. Al cabo de ocho años de vigencia, la ley ha conseguido reducir en un 41% los residuos tóxicos, en un 24% el uso de productos tóxicos y en un 80% las emisiones contaminantes (Thorpe, 1999: 15-16).

2. ELEMENTOS PARA UNA ESTRATEGIA INTEGRADA DE PRODUCTO ECOEFECTIVA

2.1. ELEMENTOS GENERALES

Lo que definimos como estrategia integrada de producto (EIP) abarca las actuaciones contempladas en la PIP, pero con un grado de profundidad y de integración tal que suponen un salto cualitativo con respecto a ésta, y otras no contempladas que son elementos imprescindibles de una estrategia de sostenibilidad. En primer lugar, el enfoque básico debe cambiar: el de ecoeficiencia debe ser suplantado por el de ecoefectividad. Tal como hemos visto, el concepto de ecoeficiencia es incremental y parcelado. Por el contrario, la sostenibilidad obliga a que todos los componentes de los productos puedan ser reciclados sin perder calidad, que sean nutrientes técnicos.

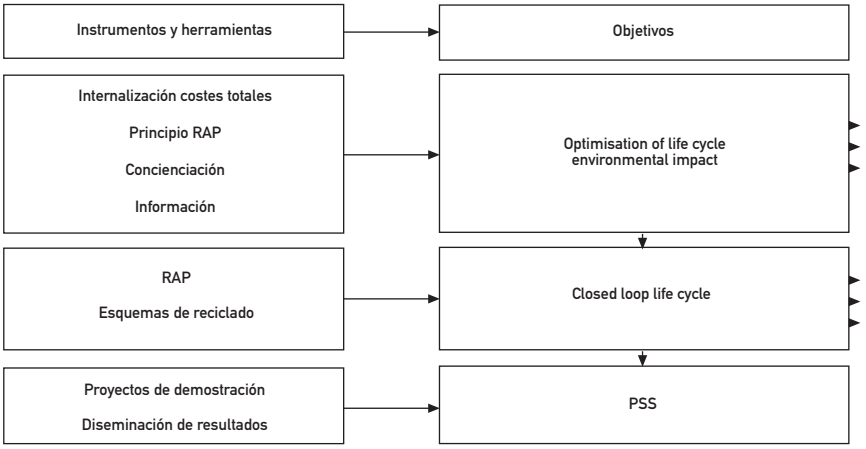
Pero el concepto de ecoefectividad resulta incompleto porque se focaliza solo en la actuación de las empresas durante el ciclo de vida de un producto. Por ello, debe formar parte de una estrategia que contemple otras políticas; lograr un sistema de información que suministre los datos esenciales de los productos y de su ciclo de vida; lograr que la RAP alcance niveles que sean compatibles con una economía circular; elevar progresivamente la calidad media de los productos; prohibir los productos que se vayan quedando por debajo de la calidad media; exigir a las empresas transparencia informativa sobre la toxicidad de los materiales;

apoyar a las empresas para que pretendan mejorar radicalmente la calidad de sus productos (el apoyo en I+D y en demostración son decisivos); incentivar a las empresas para que adopten los sistemas producto-servicio; prohibir la comercialización de materias peligrosas, etc. El gráfico 1 muestra de forma sintética los elementos citados de una EIP.

Además, hay que realizar políticas selectivas, especialmente sobre los grupos de productos y servicios que generan la mayoría de los impactos, sobre los grupos de productores y clientes más proclives a cambiar, y las administraciones públicas deben dar ejemplo, realizando una compra verde. Numerosos informes, entre ellos el informe EIPRO ("Environmental Impacts of Products") de la Comisión, llegan a la conclusión de que la alimentación, el transporte privado y la vivienda (incluida la construcción) son responsables del 70-80% de los impactos ambientales, incluidos los consumos de recursos (COM(2009)1707 final). Ello supone que no se trata solo de mejorar los productos y servicios, sino también de cambiar el tipo de los mismos (dietas con menos proteínas animales, transporte colectivo frente al coche, vivienda colectiva frente a la individual, etc.). La acción de los siete gobiernos europeos más avanzados en compra pública verde han conseguido que la media de la UE alcance el 45% en valor. Los Países Bajos pretenden alcanzar el 100% en 2010 (COM(2008)693 final). Pero es necesario relativizar estas cifras, porque el sistema de certificación de calidad ambiental de la UE tiene que mejorar mucho.

GRÁFICO 1

ELEMENTOS DE UNA EIP



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE MONT Y LINDHQVIST (2003) (HAY QUE SUSTITUIR LA INTERNALIZACIÓN DE EXTERNALIDADES POR LA RFE).

Aunque lo señalado pueda parecer utópico, una vez más, es necesario indicar aquí que la escasez de recursos esenciales para mantener el modelo económico actual, tanto de combustibles fósiles como de materiales estratégicos, va a provocar a corto plazo transformaciones impensables antes de que se pongan de manifiesto mayores escaladas de precios que las producidas en el periodo 2004-2008. En este contexto las empresas ecoefectivas irán alcanzando una posición claramente ventajosa frente al resto de las empresas, y no solo porque pueden llegar a ofrecer productos más baratos (al incorporar una cantidad menor de recursos) y más eficientes en energía, sino porque también se encuentran con un bagaje de conocimientos, de expertos, de prácticas productivas y, en algunos casos, de redes de colaboración con otras empresas. Un ejemplo es la mayor eficiencia de los automóviles europeos y japoneses frente a los estadounidenses les ha permitido sortear mejor la escalada de precios del petróleo del periodo 2002-2008 y la crisis económica posterior. En estos casos el factor determinante de la situación diferencial ha sido una fiscalidad sobre gasolinas mayor.

2.2. DISEÑO DE PRODUCTOS ECOEFICIENTES POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA DEL 'INTELLIGENT MATERIAL POOLING'

El concepto "de la cuna a la cuna", diseñado por Braungart y McDonough, define los pasos que se deben dar para el diseño de productos sostenibles. Pero una empresa no tiene habitualmente el control sobre sus productos una vez que los ha vendido, por lo que no puede hacer una gestión de la cuna a la cuna a no ser que se asocie para hacerlo con otras empresas, porque los proveedores se suelen negar a informar sobre los materiales y las sustancias de sus productos y a sustituir los materiales y las sustancias peligrosos o no reciclables. Para evitar tales problemas y beneficiarse del trabajo en grupo, las empresas pueden organizarse para crear el sistema *Intelligent material pooling* (IMP). Las empresas del IMP actúan como un oligopolio de demanda (mediante la creación de un *material bank* que posee la propiedad de los recursos, los alquila a las empresas manufactureras y reutiliza/recicla los productos al final de su vida) con capacidad para exigir a los proveedores los materiales que necesitan.

El primer paso es hacerse con la lista más completa posible de sustancias peligrosas y de las que muy probablemente lo sean, por pertenecer a unas determinadas familias químicas. Por desgracia, la UE solo ha empezado a definir la lista oficial de tales productos y sustancias, aunque diversos organismos están definiendo listas, como las de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y del gobierno alemán. Una vez adoptada la lista más completa

posible, se trata de sustituir las materias que se encuentran en los productos por otras de la mejor calidad posible. Esto obliga a confeccionar otra lista de los posibles materiales candidatos a ser sustitutos. Pero, además, hay que tener en cuenta qué materiales no son reciclables. Teniendo en cuenta esos problemas, se trata de optimizar la lista alternativa (Braungart *et al.*, 2008). A partir de esta información, las empresas del IMP pueden rediseñar sus productos de forma que sus componentes sean nutrientes técnicos. Además, los fabricantes se ven impulsados a reducir la cantidad de los materiales utilizados, para reducir costes de alquiler, y a diseñar los productos de forma modular (en caso de que sean artefactos complejos), de forma que el desmontado sea más fácil, reduciendo así los pagos al *material bank*. Así que "una adecuada selección de los materiales y un *Intelligent Material Pooling* son las dos estrategias para avanzar hacia un sistema industrial basado en los flujos cíclicos de materiales" (Braungart y Bollinger, 2004). Por último, el sistema IMP puede dar lugar a que las empresas adopten un mismo logo, fortaleciendo así la imagen de marca (Braungart *et al.*, 2008).

Este concepto se está aplicando en el rediseño de productos y servicios de múltiples empresas (Ford, Nike, Herman Millar, Rohner Textil, Honeywell, etc.), en la ciudad de Chicago y en el Centro para el Desarrollo Sostenible de China y EE UU. Pero desprovisto del *material bank*, aunque, exceptuando la empresa textil, las empresas son tan grandes que tienen el poder de exigir las materias primas y subconjuntos que deseen, por lo que no lo necesitan y se evitan crear el sistema empresarial del IMP (Braungart *et al*, 2003: 146).

2.3. RESPONSABILIDAD FÍSICA. SISTEMAS PRODUCTO- SERVICIO

Desde hace más de una década, algunos gobiernos nórdicos (entre los que destaca el holandés), un número creciente de autores (que han publicado artículos sobre todo en el *Journal of Cleaner Production)* y un nutrido grupo de experiencias empresariales vienen mostrando que los sistemas producto-servicio (SPS) tienen un gran potencial desmaterializador, por lo que constituyen un elemento imprescindible de una EIP. Pero no está justificada la premisa con la que muchos autores los defienden: los SPS sustituyen productos por servicios y los servicios consumen menos recursos, así que la economía de los servicios o funcional constituye un avance hacia la sostenibilidad. Aquí nos remitimos a lo dicho en el capítulo 5 en relación con la teoría de la desmaterialización. Mont (2002) afirma que la sustitución de productos por servicios no necesariamente deviene en menores impactos ambientales y el PNUMA (2002: 5), tras afirmar que el concepto de SPS tiene un potencial prometedor, declara que "esta potencia tiene debe ser verificado caso por caso".

2.3.1. Conceptos

El Ministerio de Medio Ambiente holandés acuñó este concepto a finales de la década de los ochenta para reflejar la sustitución de la venta de productos por la venta de servicios asociados a los productos. En los dos tipos principales de SPS las empresas no venden sus productos, sino que los alquilan; dejan así de estar interesadas en vender el mayor número de productos posible y lo están en garantizar al cliente servicios de calidad, manteniéndolos en buen estado y sustituyéndolos al final de su vida útil o cuando cambien las necesidades del cliente. El gobierno holandés (1998: 68) considera que "no es en absoluto necesario comprar los productos", y que si "el suministrador no vende los productos sino que los alquila", se reduce "la contaminación y el uso de materias primas". Al hacerlo así las empresas se ven incentivadas a potenciar el reciclado y la reutilización. Pero estamos lejos de alcanzar un consenso amplio no solo sobre el concepto, sino también sobre el término que lo define.

Hace un lustro era frecuente que este campo se definiera como "nuevos usos de productos". Pero en la actualidad el consenso sobre el término SPS se va fortaleciendo, aunque aún haya autores que empleen otros términos, como servicios ecoeficientes o remanufacturación. Por el contrario, es bastante frecuente que se utilice el término SPS para reflejar experiencias que no tienen cabida en este término. Behrendt *et al.* (2003: 14) lo definen como "aquellos componentes de servicios intangibles que sustituyen, parcial o completamente, componentes tangibles, resultando en un efecto positivo sobre el ambiente". Cook *et al.* (2006) aceptan la siguiente definición de Meijkamp de lo que define como servicios ecoeficientes (otra forma de referirse a los PSP): "todas las clases de ofertas comerciales dirigidas a satisfacer las necesidades de los consumidores mediante la venta del uso de un producto (sistema) en vez de proveer un producto. […] en el que algunos de los derechos de propiedad son mantenidos por el productor". Estas definiciones tienen en común que los SPS reducen los impactos ambientales frente a los comportamientos tradicionales. Otros van lejos: SPS tienen el potencial de "producir tales cambios en los modelos de producción y consumo que pueden acelerar el cambio hacia unas prácticas y sociedades más sostenibles" (Mont, 2002).

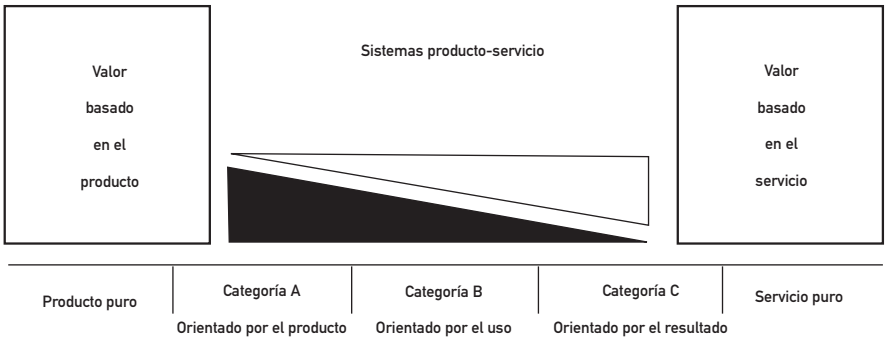
2.3.2. Tipología y potencial transformador

Se suelen definir tres tipos de SPS: orientado por el producto, orientado por el uso y orientado por los resultados. En el primer tipo el consumidor tiene la propiedad del bien y el productor ofrece una serie de servicios para

garantizar una mayor utilidad. Un ejemplo típico son los contratos de mantenimiento, pero hay casos en los que el vendedor ofrece otros servicios: formación y asesoramiento para obtener un mejor servicio, remanufacturación del producto, etc. En el segundo tipo el proveedor de servicios mantiene la propiedad del producto y el cliente está interesado en el servicio que le da su uso. El contrato contempla un pago por su alquiler. Con este sistema se logra un uso más intensivo de los productos. Éste es el caso del sistema de coche compartido. En el tercer tipo la propiedad del producto también es retenida por el proveedor de servicios, pero el cliente busca servicios asociados al producto. El proveedor de los servicios está interesado en la mejora del mismo, mediante la introducción de nuevas tecnologías o cambios organizativos. Así que hay múltiples grados de combinación de productos y servicios (Baines *et al.*, 2007). El gráfico 2 sintetiza esta tipología.

GRÁFICO 2

SISTEMAS PRODUCTO-SERVICIO



FUENTE: SUNDIN (2009: 33).

El potencial transformador de cada uno de los tipos explicados es muy diverso y se puede asegurar que, en general, se incrementa del primero al tercero. Tukker y Tischner (2006) estiman que el potencial desmaterializador es, en el mejor de los casos, de 2 para la categoría A. En la categoría B el potencial es de 2 y en la C se puede alcanzar el potencial de 10. Por ello centraremos el análisis en la categoría C (Sundin, 2009: 33, 34).

Un estudio realizado para la UE sobre el mercado potencial para el SPS y la remanufacturación (la categoría A, según la clasificación del gráfico) estimaba que en 1998 era en su ámbito territorial cercano a un billón de

euros (el 10% de PIB: 6% para el SPS y 4% para la remanufacturación) (Calleja *et al*, 2001: 62). No hay consenso entre los analistas sobre cuál es su grado de desarrollo. Barnes y 22 autores más (2007) afirman que "es limitada la puesta en práctica de tales ideas [las de SPS] por la industria". Visnjic y Van Looy (2009) consideran que "la diversificación de las oferta de las empresas manufactureras para incluir servicios es un fenómeno creciente durante las últimas décadas". Colen y Lambrecht (2010) afirman que "un número creciente de manufactureros están reconociendo el potencial de beneficio de los servicios". Las declaraciones no tienen por qué ser contradictorias. La primera, que es la más temprana, considera que el grado de desarrollo está por debajo de las expectativas; las otras dos se centran en la dinámica y consideran que se está intensificando.

Aquí, una vez más, es de gran importancia el papel que desempeñen los gobiernos. Pueden desarrollar múltiples políticas, pero la mejor iniciativa es que constituyan un paquete integrado. Haciendo un repaso de las indicadas en el texto, nos encontramos con: políticas fiscales que gravan el uso de recursos y emisiones contaminantes; normas que suponen nuevas responsabilidades para los productores mismas; en este caso sería necesario la implantación de sistemas de RAP con carácter generalizado y con exigencias transformadoras; subvenciones y acceso a financiación barata; información a las empresas sobre las experiencias exitosas; servicios de formación e información, sobre todo a PYMES, y de asesoramiento (la agencia ambiental sueca ofrece tales servicios); creación de institutos de investigación y de programas de promoción (el gobierno austriaco ha desarrollado el programa *Factory of Tomorrow*); campañas de información y promoción de los SPS dirigidas a la población; la adopción de las administraciones públicas de tales sistemas; etc. (www.serviceinnovation.at).

2.3.3. Sistema producto-servicio orientado por los resultados

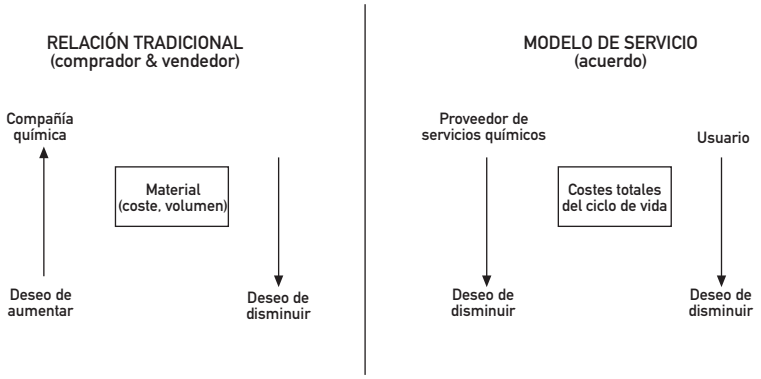
Concepto

Con el SPS orientado por los resultados (SPS-OR) los empresarios retienen la propiedad del producto, pero lo ofrecen en alquiler a sus clientes junto con servicios asociados. Se supera así la contradicción clásica de intereses entre productores y clientes. Los productores pretenden aumentar al máximo el volumen de la venta, y con ello aumentan los materiales y la energía empleados y sus beneficios. Por el contrario, los clientes pretenden comprar lo justo para satisfacer sus necesidades y al mínimo precio posible. Con el SPS-OR desaparece

tal contradicción, porque ambos están interesados en reducir los costes de materiales, de energía, lograr servicios fiables y contratos duraderos.

GRÁFICO 3

CAMBIO DE PARADIGMA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE CLAUSSEN (2002), THE CANOPY INSTITUTE.

La adopción del sistema le ofrece a los productores reducir los costes de los materiales y energía; aumentar el valor añadido, porque los servicios pueden ser aumentados y mejorados, mientras que la venta supone el fin de la transacción; mantener una dinámica de innovación permanente; fidelizar a los clientes ofreciéndoles servicios adaptados a sus necesidades; mejorar la comunicación con los clientes, lo cual supone un mayor conocimiento de sus preferencias y puede llevar a cambios de diseños y de los servicios que ofrecen. En esencia, a los productores les supone ahorro de recursos, más servicios y más valor añadido. Con el SPS-OR tiende a diluirse el concepto de producto nuevo. Éste solo existe cuando hay un cambio tecnológico cualitativo que permite la creación de un producto inexistente hasta el momento. En los demás casos los productos existentes se van transformando a lo largo del tiempo mediante la sustitución de componentes obsoletos por otros tecnológicamente más avanzados. Todo ello impulsa a las empresas a realizar cambios profundos: en el diseño de los productos, con el fin de que sean más fácilmente reparables, remanufacturables, reciclables y de más larga duración (lo cual lleva aparejado el diseño modular de los productos); en los circuitos (se buscará minimizar las distancias de transporte y su frecuencia); en la estructura organizativa, que debe ser más descentralizada; asumir la responsabilidad permanente de dar un buen servicio sobre todo el ciclo de vida del producto (organizar la recogida de los productos, su reutilización y reciclado) y

conseguir la participación de los consumidores en el diseño de los servicios y en el cierre de los ciclos de los materiales (Baines *et al.*, 2007;).

Estos requisitos pueden resultar obstáculos importantes, porque determinan un cambio de cultura y ello supone tiempo y la necesidad de formación del personal (y, en última instancia, costes); la filosofía de las ganancias inmediatas a partir de la venta debe ser sustituida por la de un flujo de ingresos asociados a los servicios; las redes de venta se deben convertir en redes de servicios, y por eso normalmente deben descentralizarse; cambian las relaciones con los proveedores y con los clientes, las cuales por lo general se intensifican; la responsabilidad de hacerse cargo permanentemente de los productos, incluido su tratamiento final, choca con la cultura de la mayor parte de las empresas; costes financieros por la necesidad de realizar inversiones; riesgos de conflictos internos y con las empresas de la cadena de producto; riesgo de pérdida de clientela, y es probable que una pérdida de la clientela tradicional, porque está habituada a la compra de productos. Los últimos obstáculos se pueden superar manteniendo los dos sistemas (el tradicional y el SPS-OR) o con la introducción gradual del nuevo sistema. Experiencias de éxito muestran que las compañías minimizan los riesgos al comenzar la puesta en práctica del SPS-OR diseñando experiencias piloto. Ya sea creando un departamento responsable o una compañía nueva que lo desarrolle (Lindahl *et al.*, 2009).

Los clientes obtienen claras ventajas de los SPS: reciben mayor cantidad de servicios y personalizados; como los servicios son flexibles, permiten la adaptación a los cambios de sus necesidades; el producto elegido es el que se adapta a sus necesidades y, cuando éstas cambian, se puede renegociar el cambio del producto; se ven liberados de las responsabilidades que son inherentes a la propiedad; no tienen que hacer un gasto fuerte ni en un periodo corto de tiempo, como se produce en la venta; las empresas prefieren unas relaciones estables con un conjunto de clientes eficientes y fiables; por último, algunos clientes prefieren tales sistemas por los menores impactos ambientales asociados al consumo (Visnjic y Van Looy, 2009).

Experiencias en empresas manufactureras

Un número importante de compañías están introduciendo este sistema, aunque lo normal es que combinen diferentes sistemas (venta de servicios, de productos o de diferentes combinaciones de ambos) porque así lo requieren los clientes. Se están extendiendo en el sector de la automoción, en el aeronáutico, en el mobiliario y para oficina, etc. Xerox es el caso más conocido de aplicación de esta estrategia empresarial. Alquila fotocopiadoras, las mantiene y al

final de su vida las recoge y remanufactura, reemplazando los elementos que se han quedado obsoletos. Aunque desde la década de los sesenta ha venido recuperando materiales, es en el periodo que va de finales de los ochenta a principios de los noventa cuando desarrolla su estrategia y la aplica a fotocopiadoras, impresoras y toners. Xerox se encarga directamente de la recogida de las fotocopiadoras. Ha diseñado fotocopiadoras totalmente reciclables y con una estructura modular, formada por siete módulos que pueden ser removidos y recolocados en minutos. Un estudio de la sección australiana de esta empresa muestra que en el caso de la fotocopiadora modular los ahorros conseguidos son en materiales de un factor de 1,9 y en energía, de 3,1. En 2002, a los diez años de iniciar la experiencia, Xerox elaboró un informe sobre sus resultados en el que afirma tener ahorro de costes por valor de 2.000 millones de libras esterlinas y haber evitado la generación de 64 Mt de residuos. En 2003 recicló el 95% de los residuos (175.000). Comparte con Océ la infraestructura de remanufacturación. Los productos remanufacturados suponen el 25% de la producción total (Gray y Charter, 2007).

Rolls-Royce ofrece a las compañías de aviación el *Total-Care Package*, que supone el alquiler de los motores acompañado de los servicios necesarios para su buen funcionamiento. Cobra en función del tiempo que se utiliza y aporta una parte importante de sus beneficios. Un sistema semejante utiliza JetCo. Siemens tiene un sistema de alquiler de electrodomésticos. La multinacional Interface alquila sus moquetas modulares, de forma que las de las zonas más usadas se pueden sustituir fácilmente. Su presidente afirma: "Vendemos los servicios de la moqueta —color, diseño, textura, calidez, acústica, bienestar en los pies, limpieza y mejora de la calidad del aire—, pero no la moqueta misma. El cliente paga una mensualidad por este servicio" (Anderson, 1998: 14). Desde que en 1994 empezó su proceso hacia la sostenibilidad (objetivo declarado), las ventas se han incrementado en un 77%, los beneficios en un 81% y su valor en bolsa en un 77% (Brown, 2001: 265). Sin embargo, el servicio de devolución de moquetas tiene pérdidas, porque los costes de deposición son menores que los de devolución. DuPont también ofrece un SPS en moquetas. También las alquila Collins & Aikman. IBM y Siemens-Nixdorf, Sony, Hewlett-Packard, Océ, Canon, Pakersell, Herman Miller y Steelcase (los dos mayores productores de muebles de EE UU), etc., tienen programas SPS (Baines *et al.*, 2007).

Industria química

En la relación tradicional entre la industria química y sus clientes, éstos tienen incentivos para incrementar las compras, porque así obtienen mayores descuentos en el precio. Pero ahora muchas empresas químicas (Olin, Castrol, Ashland,

Henkel, Dow, DuPont, BASF, etc.) empiezan a sustituir la venta de sus productos por la de paquetes de servicios. Esta práctica se conoce como sistema de Gestión de Servicios Químicos (GSQ) y supone que la empresa química toma la responsabilidad del manejo de los productos químicos utilizados en las plantas del cliente y frecuentemente retiene su propiedad. No se les paga por la cantidad de producto utilizado, sino por los servicios que da a los clientes. Las empresas químicas buscan reducir el volumen de productos utilizado en cada operación. Las ventajas para el cliente son: las empresas clientes de la industria química no tienen personal capaz de realizar una gestión eficiente y segura de los productos, mientras que la industria química sí lo tiene; los costes de gestión (se estima que, como media, los costes de gestión (recepción, inspección, almacenamiento, etc.) son iguales a los de compra); los factores de seguridad y calidad ambiental están ganando peso a medida que se va conociendo mejor la peligrosidad de muchos productos químicos. En algunos casos se han eliminado productos, bien porque se ha llegado a la conclusión de que no son necesarios o porque son peligrosos y se pueden sustituir por productos inocuos o menos peligrosos. Este concepto se ha consolidado en grandes empresas de automoción, electrónica, metálicas, construcción y transporte aéreo. Los productos más utilizados son pinturas, productos de limpieza y desengrasado de superficies metálicas, adhesivos, lubricantes, etc. En EE UU a principios de siglo se gestionaba de esta forma el 50-80% de la industria automovilista, el 35% de la industria electrónica y el 10% de la industria aeroespacial, pero son frecuentes las reducciones del 50% y el 80% de residuos peligrosos en los dos primeros años de funcionamiento del GSQ. Volkswagen, Daimler, Volvo, Ford, Toyota y GM han venido contratando la pintura y ahora se mueven hacia la contratación de todos los productos químicos. En el sector electrónico, Intel y Motorola lideran la aplicación de la GSQ. En la UE suponen el 14% de las ventas del sector químico. En pintura, entre el 40 y el 70% de la industria del automóvil lo utiliza y en industria aeronáutica, un 30-45%. Se obtienen reducciones de consumo del 5-30%, según el tipo de producto. UNIDO, órgano de la ONU, está impulsando la GSQ y para ello ha creado el International Working Group on Chemical Leasing, que actúa en Austria, Alemania, Brasil, Egipto, Rusia, etc. (van der Velpen, 2009).

2.3.4. Sistema producto-servicio orientado por el uso

Uso individual

Las prácticas más habituales en este campo son el *renting* y el *leasing*. En el primer caso se trata un alquiler a corto plazo y es una práctica común en los países OCDE. El resultado del *renting* suele ser positivo de cara a la sostenibilidad,

porque evita la compra del producto y su uso es intensivo. El *leasing* es un sistema de alquiler a medio y largo plazo en el que el usuario tiene opción de compra y ésta se ve facilitada porque las cuotas pagadas se descuentan del precio del producto. Permite al cliente evitar el fuerte desembolso inicial, comprobar el buen funcionamiento del producto y el acceso continuo a nuevos modelos, en el caso de que no quiera hacerse con la propiedad. Tiene repercusiones negativas para la sostenibilidad, porque permite la compra de productos a gente con rentas bajas; tiende a acortar el tiempo de uso de los productos, ya que facilita el acceso continuo a otros nuevos. En Alemania más de la mitad de los usuarios de coches acceden a ellos a través del *leasing* (Behrendt *et al.*, 2003: 30). Las compañías que ofrecen estos servicios no suelen ser productoras, sino intermediarios, por lo que no están interesadas en la mejora de la sostenibilidad de los productos.

Uso colectivo

Estas experiencias se caracterizan por la creación de organizaciones que son propietarias de los bienes y cada miembro paga según los servicios demandados. Se reducen impactos ambientales por, al menos, dos motivos: se hace un uso más intensivo de los productos, por lo que disminuye la cantidad de los que se necesitan; los usuarios demandan menos servicios que en el caso de la propiedad individual, al tener que pagar por cada uno de ellos. Destacan las urbanizaciones comunitarias (*co-housing*) y los sistemas de coche compartido (*carsharing*).

Las urbanizaciones comunitarias están formadas por viviendas privadas con todos los elementos de una vivienda normal, aunque de reducidas dimensiones, además de múltiples espacios colectivos (cocina, comedor, jardín y pueden tener sala de reuniones, lavandería, habitaciones para invitados, salas de juegos para niños, sala de herramientas, etc.). El énfasis se pone en la creación de comunidades. Grupos rotatorios preparan cenas varias veces por semana y se organiza el cuidado de los niños, el mantenimiento de las zonas comunes y el gobierno de la comunidad. Existen dos modalidades: comunidades multigeneracionales (mayoritaria) y de personas mayores. Estas urbanizaciones ocupan mucho menos suelo que las convencionales y se reduce el número de coches y electrodomésticos, cortacésped, herramientas, etc. La primera comunidad fue creada en 1972 por 27 familias en Dinamarca. Las urbanizaciones están formadas por edificios pequeños y privados, menos en Suecia, donde la propiedad es estatal y las viviendas son verticales. El fenómeno crece rápidamente; existen cientos de comunidades en Dinamarca y otros países nórdicos, y se están extendiendo por Francia, Italia, Bélgica y Reino Unido. En Norteamérica hay más de 120 y unas 115 promociones. Un estudio realizado en EE UU muestra que el espacio total de cada

vivienda (incluida la parte proporcional de los espacios comunes) es dos tercios de la media del país y que el suelo ocupado es la mitad. Además han disminuido en un 4% el número de automóviles, en un 25% los frigoríficos y lavadoras y en un 75% las cortadoras de césped (Lietaert, 2007).

Los sistemas de uso compartido de automóviles (*carsharing*) suponen la creación de asociaciones que poseen diversos tipos de vehículos que se alquilan a los socios durante las 24 horas del día y están distribuidos en aparcamientos especiales. Los socios pagan una cantidad mucho menor que la que cobran las empresas de alquiler clásicas. Los vehículos son utilizados de forma intensiva, con lo que se reduce el espacio de aparcamiento y las emisiones al tratarse de coches más eficientes. En Suiza se creó una cooperativa de coche compartido en la década de los ochenta y en seguida el sistema empieza a crecer rápidamente en Alemania y Suiza, para luego extenderse a otros 13 países europeos. En Norteamérica comienza en la década siguiente, primero en Canadá, para luego desarrollarse con rapidez en EE UU. También se está extendiendo por Asia. En 2007 estaba implantado en unas 600 ciudades, con unos 350.000 asociados y unos 12.000 vehículos (el 60% en Europa). En Norteamérica el número de miembros creció un 117% entre 2007 y 2009 y se espera que lo siga haciendo al mismo ritmo los próximos 5-10 años, lo cual elevaría los miembros a 4,4 millones en 2016. Un crecimiento semejante elevaría los miembros europeos a 5,5 en 2016 (Shaheen y Cohen, 2007; //carsharingus.blogspot.com).

Los estudios, los resultados más importantes son: por cada coche del sistema se reduce la necesidad de poseer 4-10 coches privados en Europa, 6-23 en Norteamérica y 7-10 en Australia. La gente tiende a reducir el uso del coche, porque tiene que pagar por cada viaje. Un 21-34% de los participantes vende su coche en Europa, un 11-29% lo hace en Norteamérica y aquí un 12-68% retrasa la compra. Resulta rentable sustituir el coche individual por el compartido con recorridos anuales de 10.000-16.000 Km, según países. Las organizaciones se están uniendo en grandes complejos multinacionales. Están siendo apoyados por los Gobiernos de Alemania, Países Bajos y Suiza, porque ven que reducen el uso del coche, e integran este sistema con el de transporte público (Shaheen y Cohen, 2007).

2.3.5. Sistema producto-servicio orientado por el producto. Remanufacturación

Sandin (2010: 41) define la remanufacturación como "el proceso de reconstrucción de un producto, durante el cual: el producto es limpiado, inspeccionado y desmembrado; los elementos defectuosos son reemplazados; y el

producto es reensamblado, testado e inspeccionado de nuevo para asegurar que cumple o excede las cualidades de un producto nuevo". Y distingue tres tipos: de producto, de componentes y de canibalización. En el primer caso el producto remanufacturado alcanza el mismo nivel o uno mayor que un producto nuevo. En el segundo sucede lo mismo a escala de elementos. Y en el tercero los elementos de productos desechados son remanufacturados al mismo nivel que en el caso segundo. A pesar de que la remanufacturación es más beneficiosa que el reciclado, el diseño se centra en éste, porque impera la sospecha sobre la baja calidad de los productos remanufacturados.

La remanufacturación está muy asentada en importantes campos: aviones, trenes, todo tipo de vehículos militares, motores de barcos, de camiones, y se va desarrollando en motores de coches, edificios y otros muchos productos, que van desde alfombras hasta aparatos médicos. Lufthansa Technik se dedica al mantenimiento y remanufacturación de aviones, tanto de los propios como de otras compañías, y se ha convertido en la principal compañía mundial: 11% de cuota de mercado. La compañía suiza SR Technics tiene el 5%. General Electric Medical Systems remanufactura no solo sus propios aparatos sino también los de la competencia. General Motors, Carterpillar y Wolkswagen tienen sistemas de recogida de motores. Estudios sobre la remanufacturación de componentes del automóvil muestran que en comparación con la alternativa del automóvil nuevo pueden ahorrar un 84-91% de energía y un 88% de los materiales (Calleja *et al*, 1999: 60). Xerox recoje cartuchos y toners mediante un sistema en el que el cliente coloca los gastados en la caja del producto, que contiene un sello de correo, y lo reenvía (Guide y van Wassenhove, 2002: 487). La EPA de EE UU estima que en 1996 había más de 73.000 empresas dedicadas a esta función con 350.000 trabajadores. El gobierno japonés definió en 1996 el reciclado y la reutilización como el sexto objetivo tecnológico entre una lista de más de mil. El objetivo público es alcanzar una economía de cero residuos, pero el objetivo tecnológico es alcanzar el liderazgo mundial en *manufactuación inversa.* Esto significa retomar los productos después de su vida útil para desmantelarlos con el mismo grado de sofisticación tecnológica que el empleado en la manufactura (Cohen-Rosenthal, 2004).

CUARTA PARTE

CONSUMO SOSTENIBLE

CAPÍTULO 19

ELEMENTOS DE UN DIAGNÓSTICO Y DE UNA ESTRATEGIA DE CONSUMO SOSTENIBLE

En este capítulo diagnosticamos, por un lado, las causas estructurales del modelo consumista a través del análisis de los sistemas de motivación, provisión y acceso al consumo, siguiendo lo metodología del PNUMA. Por otro, describiremos las políticas que deben formar parte de una estrategia de consumo sostenible.

1. UN MODELO DE CONSUMO INSOSTENIBLE, INJUSTO Y PATOLÓGICO

La crítica a la acumulación de bienes aparece ya en las principales filosofías y religiones (todas ellas propugnan la austeridad con matices diferentes). Aristóteles acuñó el término de *pleonesia* (el "insaciable deseo de más"). Pero lo que en el mundo antiguo era un fenómeno muy reducido, con el capitalismo se convierte en uno de masas. En el siglo XX, Veblen denunció el consumo conspicuo y Galbraith, el de la sociedad efluente (Jackson, 2005: 20, 21). Hoy es ampliamente aceptada la insostenibilidad de nuestro modelo de consumo. La Agenda 21 declara que "la causa principal del continuado deterioro del ambiente planetario es el insostenible modelo de producción y de consumo, particularmente en los países industrializados" (CNUMAD: 1993: 25 y ss.). La

AEMA (2008: 275) afirma: "Además de que el consumo de la UE es insostenible, el consumo futuro será menos sostenible a menos que se adopten decisiones de cambio".

La población mundial se acerca a los 7.000 millones y se incrementa en 70 millones al año. La renta mundial se multiplicó por 18 veces entre 1900 y 2000. Alrededor de 1.000 millones viven en los países ricos, 1.000-2.000 viven en países emergentes y 3.000-4.000 sobreviven con unos pocos dólares al día. Todos quieren imitar el modelo de consumo de los países ricos, pero para ello necesitaríamos cinco planetas. Los países ricos "consumen el 75% de la energía mundial; y más del 80% de otros recursos. También, generan el 75% de la contaminación mundial" (Fredigo y Tukker, 2009: 6, 7). Además, una parte mayoritaria de los impactos del consumo de los países industrializados se produce en los países exportadores a ellos. El 52% de las emisiones al aire asociadas al consumo noruego se produce en los países exportadores; el 49% de las emisiones de gases de efecto invernadero; el 56% de los pesticidas, el 74% de la acidificación, el 84% del uso de tierra, etc., provocadas por el consumo holandés se producen en el extranjero (AEMA, 2005: 15). Aumentan los impactos provocados por las pautas de consumo dominantes en las capas medias y altas de la población mundial, debido al aumento de: las dietas basadas en un alto contenido de proteínas animales y alimentos y bebidas muy elaboradas; la movilidad, realizada preferentemente en automóviles privados cada vez más grandes y con menor número de viajeros; la superficie de vivienda por persona; el urbanismo de baja densidad; los artículos de consumo que tienen una vida cada vez más efímera y cuyos circuitos comerciales son cada día más largos; etc. Por lo que "hay poca evidencia de que el consumo europeo muestre un desacoplamiento de los impactos ambientales sobre el planeta" (AEMA, 2008: 275).

2. SISTEMAS QUE DETERMINAN LAS PAUTAS DE CONSUMO

El consumo está motivado por factores intrínsecos y extrínsecos. Los primeros determinan las preferencias, mientras que los segundos reflejan las posibilidades y obstáculos originados por el contexto económico, social y legal, los cuales determinan qué preferencias se pueden materializar. Desde las posiciones de la economía ortodoxa se insiste en que las preferencias tienen su origen en factores intrínsecos. El consumidor sería soberano, las empresas se afanarían en satisfacer sus preferencias y la suma de las preferencias individuales

determinaría las pautas sociales de consumo. En el otro extremo tenemos la teoría que defiende que las preferencias de los individuos estarían básicamente determinadas por factores extrínsecos, especialmente la cultura dominante y las estructuras de provisión de bienes y servicios.

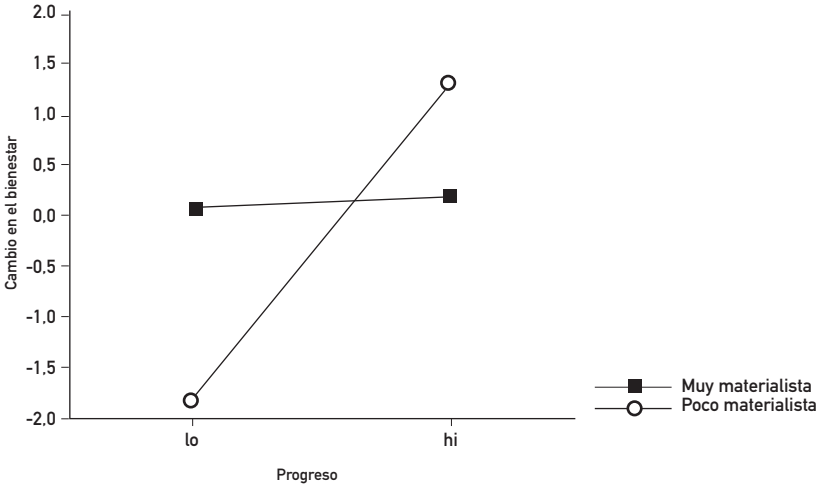
2.1. SISTEMA DE MOTIVACIÓN

La motivación viene determinada por factores individuales, socioculturales y socioeconómicos, que son difíciles de separar, pero lo hacemos por claridad expositiva (PNUMA, 2002*b*: 42). El grado de desarrollo personal determina los objetivos que se quieren lograr en la vida. Es evidente que todos buscamos la felicidad, pero muchos la identifican con el logro de objetivos que se suelen definir como materialistas. Estos objetivos o aspiraciones son: éxito económico, elevado estatus (reconocimiento) social y buena (atrayente) imagen social. Se ha demostrado, por medio de numerosos estudios realizados por todo el mundo que se ponen de manifiesto en el libro del psicólogo Tim Kasser *The High Price of Materialism*, que:

- Las tres aspiraciones constituyen una unidad. Las personas que muestran una alta valoración de cualquiera de ellas, también valoran mucho las otras.
- Las personas materialistas ven reducir su calidad de vida (incluso cuando tienen éxito) en relación con las que valoran menos o nada las aspiraciones reseñadas, siempre que tengan sus necesidades básicas satisfechas. Tienen menos vitalidad, peor salud psicológica y corporal y unas relaciones sociales más pobres. Si obtienen alguna satisfacción, ésta es superficial y efímera. Y reducen la calidad de vida de las personas de su entorno.
- No resuelven los problemas de personalidad (como inseguridad o baja autoestima) que los impulsan hacia comportamientos materialistas. Los esfuerzos por centrarse en alcanzar las aspiraciones materialistas impiden las relaciones sociales ricas, que son necesarias para superar los trastornos de personalidad o, lo que es lo mismo, satisfacer sus necesidades intrínsecas: autenticidad, autoestima, libertad, vida social rica, etc.
- Por el contrario, las personas que progresan hacia valores no materialistas logran grandes mejoras en bienestar. En el gráfico 1 se reflejan los dos tipos de evolución (Kasser, 2002: 11 y ss.).

GRÁFICO 1

CAMBIOS EN EL BIENESTAR EN FUNCIÓN DE LOS PROGRESOS EN LOS VALORES MATERIALISTAS Y NO MATERIALISTAS



FUENTE: KASSER (2002: 47).

Numerosos estudios sociológicos llegan a conclusiones semejantes. En ellos se muestra que no existe una correlación entre nivel de rentas y felicidad, que ésta no aumenta entre la llamada clase consumidora, a pesar del fuerte aumento de las rentas en las últimas décadas, y que los indicadores de patologías psicológicas se multiplican con el tiempo. Los estudios indican que el índice de personas felices puede ser muy semejante en países con rentas per cápita de entre 1.000 y 30.000 dólares y entre los que tienen un mismo nivel de renta el porcentaje de personas que se consideran felices varía ampliamente. En los países ricos el índice de personas felices permanece estancado en las últimas décadas, cuando no desciende (éste es el caso de EE UU y Japón). En el Reino Unido el porcentaje de personas que se declaran muy felices ha bajado del 52 al 37% desde 1957. Pero lo mismo ocurre en China, donde se ha reducido en un 15% el porcentaje de población que se considera satisfecha en el periodo 1994-2005. En Norteamérica se duplican cada década las tasas de depresión y el suicidio es ya la tercera causa de muerte entre adultos jóvenes. En el Reino Unido se han multiplicado por 4 las crisis familiares desde 1950. La confianza de la gente en la comunidad en Norteamérica y el Reino Unido ha caído en picado en los últimos cincuenta años (Jackson, 2009).

Sin embargo, las aspiraciones materialistas se han fortalecido en las últimas décadas. En EE UU el porcentaje de estudiantes que consideraban que era

muy importante o esencial desarrollar una filosofía de vida significativa pasó de más del 80% en la década de los sesenta a un 40% a finales de los noventa (Kasser, 2002: 104). Un factor que explica este cambio es que se están debilitando las estructuras sociales tradicionales (Iglesias, sindicatos, partidos políticos, etc.), que eran relativamente cerradas y estables, sus valores y, con ellos, las formas de definir el estatus social, la pertenencia y la identidad. Y aunque emergen otras estructuras de ejercitación de los valores intrínsecos, aún no tienen el grado de desarrollo de las tradicionales (Jackson, 2009: 113-117). Lo cual deja a la población sometida a una publicidad cada vez más omnipresente, intrusiva y manipuladora. Los factores socioculturales que describimos a continuación expresan esa realidad.

A partir de la garantía de satisfacción de las necesidades materiales básicas, el consumo se explica cada vez más por una utilidad simbólica, que como hemos visto es falsa en muchos casos: lograr la diferenciación entre grupos y clases sociales; lograr ocio y sentido de libertad; amortiguar el dolor de los fracasos; reforzar el sentido de identidad personal; amortiguar conflictos sociales; etc. Además, mediante la acumulación de bienes materiales se intenta disminuir la inseguridad frente a tiempos inciertos, sobre todo cuando las redes sociales se debilitan. El valor simbólico del consumo se manifiesta también en las sociedades antiguas, pero salvo en las elites gobernantes, no se manifiesta por la acumulación individual de riqueza, sino mediante su socialización. Por ejemplo, en la isla de Tikopia criaban grandes cantidades de cerdos y luego los propietarios ofrecían grandes banquetes a la comunidad. El que ofrecía un banquete con más cerdos elevaba su estatus social. Hoy la diferenciación social se busca adoptando determinados estilos de vestir, de decoración de las viviendas, viviendo en sectores residenciales específicos, etc., demostrando con todo ello una determinada sensibilidad y gusto propios de cada capa social (Jackson, 2009: 113).

La justificación del consumo como un medio de expresión y de construcción de la identidad personal se basaría en la teoría que postula que la identidad personal se asienta cada vez menos en el trabajo y más en los comportamientos extra laborales. Y en muchas personas parece que el consumo constituye un factor clave: "La renovación constante de bienes de consumo implica que a los consumidores se les ofrece nuevas materias primas para su trabajo creativo, y mucha gente encuentra fascinante explorar las nuevas posibilidades" (Ropke, 2001: 411). Pero basar la construcción de la identidad en el dominio del manejo de los nuevos productos supone construir una identidad dependiente y, por tanto, patológica.

El consumo es también un medio de resolver conflictos en la familia (conflictos entre dominios, conflictos originados por el reparto del trabajo doméstico, conflictos entre la autonomía de sus miembros y la cohesión entre ellos, etc.). Se producen tensiones por el reparto del tiempo entre diversas actividades: trabajo remunerado, trabajo en el hogar y actividades fuera del mismo. Estas tensiones llevan a la compra de equipamiento y bienes que reducen el tiempo de trabajo en la casa (desde lavavajillas hasta comidas preparadas). Por otro lado, se daría una tensión entre cohesión y autonomía dentro de la familia moderna que se intentaría resolver mediante diversas fórmulas que siempre se traducen en un incremento del consumo. Se tratan de amortiguar conflictos internos, si cada miembro tuviera suficiente espacio y equipamiento en casa (aparatos de televisión, de música, etc.) para disminuir el tiempo de relación familiar. También se lograría mediante la proliferación de los regalos, especialmente a los hijos, como medio de compensación por una baja atención (Ropke, 2003).

También se pretende reforzar la autoestima mediante la acumulación de bienes, pero esto "no conduce a ninguna parte, pues la necesidad constante de mejorar y conseguir la aprobación solo sirve para atrincherar a la gente en una espiral de consumo casi neurótica" (Jackson, 2009: 116). Otras veces se busca con el consumo una compensación ante las frustraciones que aparecen en las relaciones sociales, pero esto tampoco resuelve nada: "Es bastante raro que sea eficaz comprar ropa nueva si uno tiene mal de amor, o decidir la compra de un coche deportivo por temor a ser impotente, o sustituir una carencia afectiva prodigándose en regalar juguetes a los hijos" (Fischer-Kowalski y Haberl, 2000).

En resumen, cuando las personas persiguen objetivos materialistas pierden bienestar, por eso se califica el hiperconsumo de "enfermedad psicológica y ambiental" o de "patología social" (Comisión de Desarrollo Sostenible del Reino Unido, 2003: 16).

Por último, los factores socioeconómicos que elevan el nivel de consumo son: cambios en las estructuras familiares (reducción del número de miembros); liberalización de los mercados; estructuras de venta; aumento del gasto en ocio, etc. Las familias monoparentales y el abandono del domicilio familiar de los jóvenes de muchas sociedades industrializadas multiplican la necesidad de viviendas pequeñas. Se estima que, para una calidad de vida semejante, los requisitos por persona son dos tercios mayores para una persona que vive sola que para dos personas. El número de personas por vivienda en la UE-15 se ha reducido de 2,8 en 1980 a 2,4 en 2005 (AEMA, 2005: 20). Pero se considera que estos factores solo son responsables de una pequeña parte del sobreconsumo. Se estima que en Suecia han sido responsables del 10% del incremento del consumo en el periodo 1960-1985.

2.2. SISTEMA DE PROVISIÓN

Hasta aquí el consumidor aparece como un ser soberano, aunque frecuentemente se muestre incapaz de elegir los satisfactores de sus necesidades intrínsecas. Pero su comportamiento depende de los sistemas de provisión y de acceso. El sistema de provisión se refiere a los procesos a través de los cuales los bienes y servicios resultan disponibles. Incluyen el diseño, la producción, la distribución, el tratamiento de los bienes al final de su vida y las infraestructuras necesarias. Así que el análisis de los sistemas de provisión nos permite entender las diferentes formas por las que las pautas de consumo "están determinadas por las estructuras de creación, distribución, utilización, disposición e información" (PNUMA, 2002*b*: 42). A continuación analizamos los aspectos que configuran las cadenas de producto y el *marketing*.

CADENA DE PRODUCTO: Un mismo tipo de consumo puede provocar impactos muy diferentes en función de las estructuras imperantes de producción y distribución. Se suele poner en el debe de los consumidores el que el 80-90% de los impactos de los productos se manifiesten en la fase de uso, pero se obvia que más del 80% del mismo está determinado por el diseño de los mismos. Por ejemplo, el diseño determina que la eficiencia energética de edificios, electrodomésticos, vehículos, etc., varíe mucho. En los edificios puede llegar a variar de uno a diez. Habitualmente se diseñan productos universales, de corta vida, con propiedades estándar, etc. (Spangerber y Lorek, 2002).

Se acelera el ritmo de sustitución de productos: "Las escalas de tiempo del consumo está continuamente decreciendo debido a los periodos de vida más cortos y a la creciente velocidad de innovación de productos, que a su vez es el resultado de la aceleración de los procesos de I+D" (Cooper, 2005). En Europa la vida media de un ordenador es de tres años, la de los móviles es de 25 meses y de 20 meses en el caso de jóvenes. La obsolescencia de los productos no se produce solo por el diseño (obsolescencia tecnológica), sino también por el aumento de funciones (obsolescencia funcional) y por las modas (obsolescencia psicológica). Es muy poco frecuente que el aumento de las funciones suponga mejoras significativas de bienestar (AEMA, 2005: 32; 2008: 273).

El sistema de provisión está cada vez más determinado por la globalización económica. El proceso de concentración y centralización del capital lleva a que unas pocas empresas transnacionales controlen el mercado mundial de los diferentes grupos de productos y que creen redes de distribución y venta crecientemente centralizadas. Como consecuencia, los productos son cada vez más

universales, nada adaptados a las diversas culturas y ambientes. Las estructuras de producción y distribución alargan extraordinariamente la longitud de las cadenas de producto (obtención de materias primas, elaboración de componentes, ensamblado, distribución, etc.), multiplicando los consumos energéticos y las infraestructuras de transporte. Por ejemplo, una investigación del Instituto Sueco de Alimentación y Biotecnología ha analizado el proceso de producción del ketchup. El tomate se cultiva y se transforma en pasta en Italia. Las bolsas se hacen en Holanda. Las botellas se hacen en Gran Bretaña o en Suecia, con materiales procedentes de Japón, Italia, Bélgica, EE UU y Dinamarca. El tapón y las láminas de propileno se producen en Dinamarca. En Suecia solo se envasa y comercializa el producto. Todo el proceso supone 52 desplazamientos (www.youthxchange.e-meta.net). El comercio internacional dificulta cada vez más conocer los impactos de la producción, aparte de que (en caso de conocerlos) su repercusión en el cambio del modelo de consumo es menor, porque la lejanía de los problemas nos lleva a reaccionar ante ellos de forma más débil que en el caso de que se produzcan más cerca. Es lo que en economía se conoce como el descuento de la lejanía.

Las estructuras de distribución y venta imperantes están controladas por un reducido oligopolio de grandes empresas comerciales (WalMart, Carrefour, Tesco-Lotus, etc.). Estas empresas han creado un sistema de venta basado en grandes centros comerciales situados en el extrarradio de las ciudades, por lo que están impulsando el desplazamiento en automóvil y un modo de consumo de alimentos elaborados. Además, emplean sofisticadas técnicas de incitación al consumo, entre ellas, la provisión de lugares de ocio.

No suelen existir estructuras que permitan la reutilización. Aunque van mejorando los sistemas de recogida selectiva de residuos urbanos, la incineración sigue siendo el tratamiento dominante y escasean los sistemas de reciclado de residuos orgánicos. Resulta patente que los consumidores se ven impulsados a desechar aparatos útiles porque no existen repuestos. Por otro lado, los costes de reparación crecen a un ritmo mucho mayor que los precios de los productos nuevos. En Gran Bretaña, durante la década de los ochenta y principios de los noventa los precios de las televisiones y lavadoras se incrementaron en un 20% y un 40%, respectivamente, mientras que los costes de reparación lo hicieron en más del 150%. La razón es que gran parte de los electrodomésticos se realizan en países con mano de obra barata, mientras que las reparaciones se hacen en países OCDE (Cooper, 2002).

PUBLICIDAD Y 'MARKETING': Asistimos a una doble dinámica: la publicidad es cada vez más omnipresente y manipuladora y, por el contrario, avanza lentamente la

información sobre los productos con certificación de calidad ambiental y el *marketing* social. En 2008 el gasto en publicidad fue de 643.000 millones de dólares. La publicidad hace uso de sofisticadas técnicas artísticas y dramáticas para crear asociaciones entre determinadas marcas y los valores más profundamente arraigados en la conciencia colectiva. Una marca de coche simbolizaría fiabilidad; sofisticación otra de café; una de vestido, popularidad y estatus, etc. Es muy frecuente que las leyendas de los alimentos proclamen diferentes aportaciones al bienestar físico ("Vitaliza tus células", "Cuida de tus arterias y controla tu colesterol", "Naturalmente relajante", "Mantiene sano tu corazón", etc.) y hasta espiritual ("Bueno para tu belleza y armonía interior", "Limpia y refresca tu cuerpo y tu alma", etc.) sin explicar lógicamente las razones de tales resultados. También declaran que la empresa pertenece a asociaciones científicas relacionadas con el tipo de bienestar que se reclama para los productos (BEUC, 2002; 2003; Sach y Finkelpearl, 2010). La Organización Europea de Consumidores (BEUC) viene denunciando la falta de información adecuada y, lo que es más grave, la proliferación de información engañosa: "Nosotros encontramos que los consumidores están insuficientemente informados sobre la manera en que los productos son fabricados o sobre lo que contienen [...] Está proliferando el uso de fraudulentas pretensiones verdes, mientras que son pobres los esfuerzos para controlar esta situación de mayoría de los gobiernos de la UE" (BEUC, 2002). Falta información muy relevante sobre sustancias peligrosas, sobre los productos que tienen nanoelementos, sobre los efectos en la salud a medio y largo plazo de las sustancias químicas de los productos, de los gases tóxicos que emiten los electrodomésticos y los barnices y pinturas, de las ondas electromagnéticas, etc. Un campo particularmente preocupante es la información sobre medicinas: "Estudios realizados por miembros de BEUC muestran que mucha de la información sobre medicinas disponible en Europa es inexacta, caduca, poco fiable e incompleta" (BEUC, 2003). La industria farmacéutica anuncia sistemáticamente nuevos medicamentos que no aportan mejoras relevantes en relación con los anteriores. La publicidad se asocia a desórdenes en la alimentación, a violencia juvenil, tensiones familiares, sexualización de la vida e inicios muy tempranos en el tabaco y en el alcohol (BEUC, 2008*a*).

Hay dos campos de publicidad que son particularmente graves: el de los medicamentos y la dirigida a niños. Es evidente que la primera ha dado lugar a una sobremedicación, tal como denuncia el estamento médico. La publicidad dirigida a niños constituye una pura manipulación, por su incapacidad para evaluar los mensajes recibidos. Se estima que un niño recibe una media de por encima de 100.000 anuncios de radios y televisiones antes de que se convierta en un adulto. La OMC y las instituciones públicas atribuyen al *marketing* de niños buena parte de

la responsabilidad en la obesidad infantil. Las compañías de alimentación gastan 1.900 millones en publicidad dirigida a niños. Ver televisión es la actividad principal de ocio de los niños de la OCDE. Los juguetes juegan un rol mucho más importante en la actualidad que en el pasado, eliminando o reduciendo la capacidad natural de los niños para organizar juegos. Además, como un niño no tiene capacidad para saber qué juguetes pueden ser más interesantes, tienden a demandar todo, pero descartan buena parte de ellos una vez probados. Sin embargo, el Plan de Acción sobre Consumo y Producción Sostenible de la UE no contempla la publicidad (Comisión Europea, 2008; EEB, 2008).

2.3. SISTEMA DE ACCESO

Las pautas de consumo reflejan los sistemas y estructuras que controlan el acceso a los mercados y determinan lo que éstos ofrecen. El sistema de acceso está configurado por los precios, los niveles de rentas, el tiempo disponible y los bienes y servicios disponibles. Pero la causa principal de la carrera consumista es el incremento continuo de las rentas.

Una reducción del tiempo de trabajo sin cambio de salario por hora supone una disminución de rentas y, por tanto, una reducción del consumo. El incremento de la productividad ha dado lugar, en general, a una fuerte reducción del tiempo de trabajo en los países OCDE desde finales del siglo XIX y a que también, al mismo tiempo, se hayan elevado mucho los salarios. Se suele asociar la reducción de horas de trabajo al capitalismo. Pero este fenómeno es solo un rasgo dominante en las sociedades precapitalistas. Históricamente se vino reduciendo el tiempo de trabajo con el aumento de la productividad. Pero, desde el siglo XVI, en Europa se invirtió la tendencia histórica, como consecuencia del progresivo reforzamiento de la economía capitalista. Un trabajador medieval inglés trabajaba unas 2.300 horas anuales; un campesino trabajaba poco más de 1.600 horas. Durante gran parte del siglo XIX se aumentaron las horas trabajadas hasta límites incompatibles con la salud, para después revertir. En 1840 un trabajador del Reino Unido trabajaba 3.150-3.650 horas y ligeramente menos en EE UU. Pero ya en 1988 los cómputos eran de 1.855 horas para el Reino Unido y 1.949 para EE UU (www.wikipedia.org). Paralelamente se redujo la edad de jubilación en la mayor parte de la OCDE. Pero, si se hubieran dedicado la mitad de los incrementos de productividad a reducir el tiempo de trabajo solo entre las décadas de los setenta y noventa del siglo XX, se habría conseguido reducir a 35 horas la jornada semanal en la UE. Por el contrario, a partir de la década de los ochenta (con el inicio del periodo de hegemonía neoliberal) el ritmo de reducción fue decayendo, especialmente en los países donde el

liberalismo se ha mostrado más fuerte: EE UU, Gran Bretaña, Irlanda, Canadá. Posteriormente se ha invertido la tendencia. EE UU, Dinamarca, Suecia, etc., han aumentado la jornada laboral. Además, se está alargando el tiempo de trabajo mediante el retraso de la edad de jubilación. Por último, muchos gobiernos y organizaciones empresariales se niegan a promocionar las jornadas reducidas que demandan colectivos importantes (Schor, 2010).

Está demostrado que la escasez de tiempo (debido a largas jornadas laborales) para comprar determina un modelo de consumo que aumenta el uso de recursos. Se busca comida elaborada, productos de usar y tirar, medios de transporte rápidos, compra de ropa (en vez de reparar la usada), etc. Tampoco hay tiempo para elegir productos menos impactantes (Schor, 2010). Por otro lado, las políticas públicas dan prioridad a la carretera frente al ferrocarril, por lo que éste ofrece servicios pobres. Ante el éxito de la telefonía móvil, las compañías han marginado la telefonía fija, por lo que resulta complicado encontrar cabinas y que funcionen.

3. ELEMENTOS DE UNA ESTRATEGIA DE CONSUMO SOSTENIBLE

3.1. ASPECTOS GENERALES

Tendemos a amoldar los comportamientos para satisfacer las expectativas de nuestro entorno social, por ello "gran parte del consumo *ordinario* se convierte en algo inevitable" (Michaelis y Lorek, 2004: 66). Sin embargo, el consumidor "no es meramente una víctima del consumo forzado por los productores" (Ropke, 1999: 403). Se debe hablar más de soberanía limitada, con grados de limitación muy amplios que van desde gran limitación (niños, frecuentemente ancianos, personas con importantes problemas psicológicos, etc.) hasta pequeñas limitaciones (salvo en el caso de precariedad o inexistencia de sistemas de acceso) en consumidores adultos, con un importante conocimiento de los impactos ambientales del consumo y con un notable desarrollo personal.

En esta década se ha producido un avance teórico muy importante sobre lo que es un consumo sostenible y cómo lograrlo. Se han detectado los grupos de consumo que más contribuyen a la insostenibilidad y se han propuesto políticas muy avanzadas para transformar el modelo actual de consumo. Sin embargo, ha sido muy escasa la puesta en práctica de tales conocimientos por parte de los gobiernos. La Declaración de Oslo afirma que "el énfasis hasta ahora se ha colocado en las cuestiones de producción sostenible. Ha habido mucho menos esfuerzo dedicado a definir las transiciones necesarias para facilitar un consumo

sostenible" (Tukker *et al.*, 2005), lo cual se debe a que el aumento del consumo es el motor del crecimiento económico y los centros de poder temen que se reduzca en aras de la sostenibilidad. Por ello, aunque existe un amplio consenso acerca de que el modo de consumo actual es insostenible, éste desaparece a la hora de definir qué se entiende por consumo sostenible.

Desde los centros de poder se declara que el problema se encuentra en el tipo de consumo y no en su volumen, ni en su tendencia a crecer. El WBCSD (2002) afirma que "el consumo sostenible no es necesariamente consumir menos, sino consumir diferentemente: consumir eficientemente". Esta idea aparece ya en el informe de la OCDE *Ecoeficiency*: "Consumo sostenible no es consumir menos, sino consumir diferentemente" (OCDE, 1998). Es muy frecuente definir el consumo sostenible como una tendencia, obviando así la necesidad de clarificar el concepto. En 1995 la Comisión de Desarrollo Sostenible de la ONU adoptó oficialmente la siguiente definición: "El uso de servicios y productos relacionados que responden a las necesidades básicas y producen una mejor calidad de vida al mismo tiempo que minimizan el uso de recursos naturales y de materias tóxicas [...] de forma que no ponga en peligro la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras" (PNUD *et al.*, 2001). El PNUMA (UNEP, 2008: 20) sigue la misma pauta, pero sintetiza la definición: "De forma simple, significa un modo alternativo de consumo que se traduce en la reducción de la intensidad de materiales y energía por unidad de utilidad funcional". Así que en vez de definiciones, nos encontramos con textos que nos indican cómo nos acercamos al consumo sostenible. Pero, teniendo en cuenta lo dicho en los capítulos anteriores, el consumo es sostenible cuando es compatible con una economía circular de materiales, basada en energías renovables y que respeta la biosfera.

Los gobiernos son los únicos entes que tienen capacidad para liderar estrategias de cambio, influyendo decisivamente en el contexto socioeconómico que determina las pautas de consumo, porque "indican, a veces de forma sutil pero poderosa, los tipos de comportamiento que son recompensados, los tipos de actitudes que son valoradas, las metas y aspiraciones que son consideradas como apropiadas" (Jackson, 2005: 130). Pero, al mismo tiempo, a menudo son responsables por acción o por omisión de las "señales, sutiles pero dañinas, que recibimos [...] de los marcos normativos, de las instituciones financieras, de los medios de comunicación y del sistema educativo" (Jackson, 2009: 124). A pesar de ello, tienen un gran poder de inversión y consumo. En la UE-15 manejan alrededor del 40% del PIB y realizan un consumo medio del 16% del PIB. Pero su poder tiene límites. No pueden realizar políticas que sean rechazadas por la mayoría de la población o por los principlaes agentes sociales y económicos.

Las políticas transformadoras solo tendrán éxito si la mayoría de la sociedad está dispuesta a aceptarlas o tolerarlas. No obstante, es mejor que las sociedades las hagan suyas participando en su diseño o en el control de su aplicación.

La Agenda 21 (1992) contiene un capítulo sobre el cambio del consumo en el que se hace un llamamiento a los países OCDE a liderar ese cambio. La Cumbre de Johannesburgo (2002) aprobó el desarrollo de programas de apoyo a regiones y países para acelerar el cambio hacia la producción y el consumo sostenible durante una década (UNEP, 2008: 20). La Comisión Europea elaboró en 2008 su primera EPCS: el "Plan de Acción sobre Consumo y Producción Sostenible y una Política Industrial Sostenible", que incluye propuestas como la extensión de la directiva de diseño ecológico, la revisión del Reglamento sobre etiqueta ecológica y de una Comunicación sobre contratación pública ecológica. La "*base del Plan de Acción* [el énfasis es de la Comisión] consiste en un marco dinámico destinado a mejorar las características energéticas y medioambientales de los productos y a potenciar su utilización por parte de los consumidores" (Comisión Europea, 2008). Otros elementos positivos son la pretensión de integrar políticas diversas y la recomendación de que la "compra pública verde" alcance el 50% del total. El Plan ha sido calificado por el EEB de "demasiado poco y demasiado tarde" (EEB, 2008).

En la OCDE los gobiernos avanzan, con contradicciones, en el establecimiento de límites mínimos de calidad de los productos, en la limitación de los excesos de la publicidad, en el ecoetiquetado y en la compra pública verde (OCDE, 2008: 9-41). Sin embargo, no se avanzará de forma notable en la transformación necesaria si no se aplican elementos importantes de una RFE, si no se introducen sistemas de tiempo de trabajo que incentiven su reducción, si no se avanza mucho hacia la producción sostenible, si no se da un salto cualitativo en la información, etc. En un escenario convencional, no se pueden esperar cambios sustanciales en el modelo de consumo dominante. La única línea de mejora previsible es la potenciación del consumo verde. Pero la escasez de recursos obligará a que pronto se realicen transformaciones importantes.

3.2. ACTUACIÓN SOBRE LOS SISTEMAS DE MOTIVACIÓN

3.2.1. Políticas generales

Hemos visto que el peso creciente de las aspiraciones materialistas explica en gran medida el consumismo y la pérdida de calidad de vida. Así que solo mejorará la calidad de vida y la sostenibilidad si las aspiraciones materialistas son sustituidas

por otras que satisfagan las auténticas necesidades psicológicas. Existe un amplio volumen de investigación que concluye que hay tres necesidades básicas: autoaceptación/crecimiento personal (ser guiado por el interés y la curiosidad, sin permitir que la vida nos empuje); conectividad/intimidad (amar a las personas del círculo íntimo y buscar las relaciones profundas); y sentimiento comunitario/ayuda social (colaborar en el bienestar de otras personas y del mundo). Sin embargo, hemos visto que una mayoría creciente de la población no es capaz de alcanzar tales objetivos, porque se comporta en buena medida de forma materialista. Por lo que es necesario cambiar las aspiraciones, lo cual es posible si se comprende que el materialismo es el obstáculo y si se avanza en el autoconocimiento y, en especial, en la conciencia de lo que se teme. Las personas que inician este camino afirman que se sienten más felices, que tienen mejor salud psicológica, mejores relaciones sociales y que aumenta su contribución al bienestar de la sociedad y a la sostenibilidad (Kasser, 2002: 24, 25, 98-102).

Aparentemente las dinámicas materialistas empiezan a romperse ante el problema ecológico. Muchos estudios sociológicos muestran una población muy sensibilizada con este problema. El Eurobarómetro de 2001 nos muestra que 8 de cada 10 ciudadanos es consciente de que viven en un planeta en peligro y el 56% considera que es necesario "un cambio fundamental en nuestro modo de vida y desarrollo, si queremos parar el deterioro del ambiente". Según el eurobarómetro de 2008: el 95% de la población considera que es importante proteger el medio ambiente; el 75% está dispuesto a comprar productos ecológicos, aunque tenga que pagar algo más; pero solo el 17% afirma haber comprado alguno durante el mes anterior a la encuesta; el 60% está dispuesto a comprar productos ecológicos, aunque aún no lo ha hecho; solo el 52% se muestra capaz de identificar las etiquetas ecológicas (http://ec.eu/public_opinion/index). Estas tendencias no se manifiestan solo en los países OCDE. Un estudio mundial del PNUMA muestra que el 83% de los consumidores reconocen "su responsabilidad personal en el cambio de los hábitos de consumo y en la promoción de la sostenibilidad" y que, a menudo, los índices de respuestas positivas son más altos en los países No-OCDE (Fuchs y Lorek, 2004: 20). Aunque las encuestas muestran siempre un sesgo optimista, por la tendencia de los encuestados a dar una imagen personal positiva, también reflejan una tendencia de aumento de la sensibilidad ecológica.

Aunque aumentan los países que declaran que el bienestar general es el objetivo de la política nacional (lo hacen Reino Unido, Canadá, Australia, etc.), no parece que sean capaces de disociar este objetivo del crecimiento. La excepción es Bután, cuya constitución (inspirada en el budismo) declara que

el objetivo nacional es alcanzar la felicidad nacional bruta. Aunque avanza la concienciación sobre la necesidad de realizar un consumo más sostenible, el nivel alcanzado no es suficiente como para que se manifiesten cambios generales importantes. Y en un escenario convencional (de extrapolación futura de las tendencias del pasado) los cambios serán lentos y no siempre positivos. Pero este escenario no es real. Lo es el de crisis energética; en este escenario la austeridad y el cambio de nuestras relaciones con la naturaleza no son una opción sino una necesidad imperiosa.

3.2.2. Políticas selectivas

Las políticas públicas de concienciación dirigidas a toda la población deben ser complementadas con políticas selectivas sobre los grupos (consumidores, empresarios, etc.) más proclives a cambiar y sobre el consumo de las instituciones de gobierno. Los consumidores se estructuran según los grupos y subgrupos. Existen dos grupos minoritarios extremos. Los consumidores que ya realizan un consumo verde y los consumidores que no están dispuestos a cambiar sus pautas de consumo tradicionales, por lo que, en principio, resultan inaccesibles. Queda un amplio grupo intermedio que está estructurado en tres subgrupos. Los que están dispuestos a comprar productos verdes tan pronto como los precios bajen a unos niveles que consideren razonables (son los adaptadores tempranos). Los que comprarán productos verdes cuando la mayoría los compre (la última mayoría). El subgrupo intermedio (el de mayoría temprana) es el principal, porque su cambio de conducta nos llevaría a un consumo de masas (Lorek, 2003: 18). Así que se debe priorizar la actuación sobre los adaptadores tempranos, porque si cambian, será más fácil que lo haga la mayoría temprana.

El capítulo 4 de la Agenda 21 contiene un apartado que se titula "Liderazgo a través de las compras de los gobiernos" (CNUMAD, 1993). La compra pública mejora el comportamiento ambiental de las administraciones públicas y desencadena mecanismos que facilitan el acceso de la población a productos de mayor calidad ambiental: genera mercados de masas, lo cual abarata los precios, incentiva a los productores a fabricar este tipo de productos y a mejorarlos continuamente. Su potencial transformador es muy grande, ya que en los países miembros de la OCDE el gasto público se encuentra entre el 7 y el 19% del PIB (éste corresponde a Francia). En la UE supone el 16%. Los edificios suelen ser el capítulo de gasto más importante, que puede llegar hasta el 60%, y, además, suponen el 6-7% del consumo eléctrico europeo (Clement *et al.*, 2005: 121 y ss.).

Estudios de la UE demuestran que hay un amplio potencial de mejorar la calidad ambiental del consumo público. La EDS (2006) pone el objetivo de que toda la UE alcanzara el nivel de compra pública verde de los países más adelantados en 2006 para 2010. La Comisión ha establecido dos tipos de criterio para evaluar la calidad de los productos (el *core* y el *comprehensive*). El primero se refiere a aquellos productos que tienen algún tipo de certificación específica (como la *Energy Star*) y el otro se refiere a la máxima certificación, como la ecoetiqueta europea. La Comisión presentó en 2008 una Comunicación sobre la "compra pública verde" y en ella estable el objetivo de alcanzar, como mínimo, el objetivo de que el 50% de la compra sea al menos de tipo *core* para 2010. Además, ha diseñado una guía de compra verde para los diez grupos de productos y servicios principales de la compra pública: construcción, alimentación, transporte, energía, ofimática, vestimenta, papel, mobiliario, productos de limpieza y equipamiento para el sector de salud (COM(2008) 400/2).

3.3. ACTUACIÓN SOBRE EL SISTEMA DE PROVISIÓN

Es necesario pasar de actuaciones puntuales sobre algunos aspectos de cadenas de producto a, al menos, políticas integradas de producto, políticas selectivas sobre los consumos principales y sobre los agentes de consumo más proclives a cambios rápidos y un cambio radical en la formación y en la información.

3.3.1. Políticas generales

Una política de mejora general de la calidad de los productos

Frecuentemente se identifica la mejora de la calidad del consumo con la producción y compra de productos certificados. Sin embargo, esta política avanza muy lentamente debido a diversas causas: oposición de las organizaciones patronales, carencia de certificación en muchos de los grupos de productos, precios relativamente elevados, falta de educación, escasa conciencia de los consumidores y falta de voluntad política. Por ello es conveniente (además de avanzar en la certificación) impulsar la mejora de la calidad del resto de los productos. Se trataría de mejorar la calidad de los bienes y servicios certificados, de los de calidad media y de los de baja calidad, y paralelamente de ampliar sustancialmente la cuota de mercado de los bienes y servicios de mejor calidad, mientras que los bienes de calidad inferior deben ir desapareciendo. Empiezan a proliferar medidas puntuales, como la prohibición de las bombillas incandescentes o de las bolsas de plástico. La propia UE reconoce que existe un enorme potencial de mejora del comportamiento

ambiental de los productos: "En la UE siguen comercializándose miles de productos nuevos con un comportamiento medioambiental deficiente, que podría mejorar con un coste ínfimo e incluso nulo" (Parlamento Europeo y Consejo, 2003: 6). Está desarrollando (al igual que EE UU y Japón) políticas puntuales de promoción del reciclado, de eliminación de componentes tóxicos y de eficiencia energética. Todo ello obliga a algunas empresas a rediseñar los productos, aunque carece de una estrategia general de transformación, salvo en el ámbito energético (2009/28/CE; Jackson, 2009: 127). Tal enfoque general no es contradictorio con actuar de forma especial sobre los grupos de productos de mayor impacto, porque se trata de jerarquizar las actuaciones dentro del enfoque general.

Por el contrario, se reduce el periodo de vida de los productos en vez de alargarla. La vida útil de los productos sería más larga si tuvieran periodos más prolongados de garantía, fueran diseñados para tener "un envejecimiento digno" y, debido a su buen servicio, la gente sintiera afecto por ellos. Se estima que es técnicamente posible fabricar productos que duren el doble que los actuales y sean fácilmente reparables sin generar ningún sobrecoste importante. El incremento de duración se puede conseguir diseñando productos más robustos, fácilmente reparables, reutilizables e, incluso, mejorables introduciendo nuevos elementos tecnológicos. Sin embargo, la premisa de que prolongar la vida de los productos es bueno para la sostenibilidad está siendo criticada, sobre todo en el caso de los bienes de vida más prolongada. Se aduce que los bienes viejos tienen un peor comportamiento energético y que en algunos casos son más contaminantes que los nuevos (Cooper, 2002). Esta crítica normalmente solo afecta a las máquinas. En este caso, para tomar una decisión acertada, hay que tener en cuenta también otros factores: los consumos de recursos provocados por la fabricación, transporte y distribución de los nuevos bienes; la posibilidad de remanufacturarlos para lograr la mayor parte de las mejoras que aportan los productos nuevos; los desarrollos tecnológicos previsibles.

Información

Hay que impedir la información fraudulenta y manipuladora. Un primer paso debe ser el cumplimiento de la normativa comunitaria sobre los tiempos de publicidad televisiva. Además, es necesario revertir la escalada de publicidad, controlar sus contenidos y prohibirla en algunos casos. Sao Paulo, al igual que otras ciudades, prohíbe la publicidad en las calles. Se debe prohibir la publicidad dirigida a niños, de medicamentos dirigida al público en general, en centros educativos, etc. Como ya señalamos, la obesidad infantil se asocia a la publicidad. Suecia y Grecia han prohibido la publicidad a niños y Noruega la ha restringido. Este país ha prohibido, además, los anuncios de coches que declaran

que son ecológicos, verdes, etc. Por otro lado, las empresas y los gobiernos deben informar a la población sobre todos los aspectos que afectan a su bienestar. Pero no se trata solo de que fluya la información, sino de que ésta sea la adecuada, para que dé lugar a comportamientos coherentes. Es necesario: reducir su complejidad y volumen al nivel de la capacidad y voluntad del consumidor (veremos que los consumidores prefieren símbolos gráficos que les permitan detectar rápidamente la calidad de los productos); unificar al nivel más exigente los diversos sistemas de certificación públicos (se sabe que el sistema comunitario causa confusión y rechazo a los consumidores de los países nórdicos); incidir más en los principales grupos de consumo y en la información sobre los efectos sobre la salud (éste es el principal factor de compra verde); crear visibilidad (no debería ser difícil encontrar los productos certificados); etc. (Jackson, 2009: 129).

El sistema más fiable de información es el de los productos certificados cuando la certificación está avalada por organismos independientes. Los sistemas de certificación públicos suelen ser vulnerables a la presión empresarial. Los sistemas generales son normalmente públicos, mientras que los sistemas privados suelen ser específicos. Pero la multiplicación de certificados (unos 800 en el mundo) genera confusión, máxime cuando algunas de ellas son promovidas por asociaciones de productores para luchar contra certificaciones solventes (por ejemplo, en el sector maderero).

Sistemas generales de certificación: Existen sistemas de ecoetiquetado en los principales países de la OCDE. Los dos sistemas europeos de ecoetiquetado que ofrecen un nivel más alto de exigencia y tienen un mayor éxito son el "Ángel azul" alemán y el "Cisne nórdico" del Consejo Nórdico. El primero fue creado en 1977 y abarca 80 grupos de productos. En 2004 lo reconocía el 83% de los consumidores y un 49% afirmaba que buscaba estos productos. El segundo fue creado en 1989 y es reconocido por alrededor del 90% de los consumidores nórdicos. Se han establecido 42 categorías de productos (más de 1.200 los productos certificados de 350 empresas). En algunos productos se alcanzan cuotas de mercado mayoritarias (AEMA, 2008: 276).

La UE empezó a implantar un sistema general de certificación a partir de 1993, pero resultó un fracaso rotundo. Por ello, en el año 2000 decidió relanzar el sistema con nuevas bases. El número de productos certificados pasó de 80 millones en 2002 a 238 millones en 2004 y las ventas se han multiplicado. Además se ha detectado un claro aumento del interés empresarial por el sistema. Más de 500 empresas tienen productos certificados (AEMA, 2008: 276;

EEB, 2008: 21). A pesar de las tendencias positivas, el sistema adolece de múltiples carencias: el grado de exigencia de calidad ambiental es más bajo que el de los sistemas nacionales (proliferan los informes que muestran graves impactos de productos certificados). Esto, y el mercado que abarcan, determina que los empresarios prefieran el sistema de la UE. Pero este sistema abarca pocos grupos de productos; sigue teniendo una calidad baja; es muy poco conocido entre los consumidores; no se aplica un IVA reducido para los productos certificados; etc. La Comisión Europea inició en 2008 (tarde, porque el mandato era para 2005) una nueva revisión del sistema, que pretende mejorarlo: simplificar los trámites; dar prioridad a los grupos de productos con mayor impacto ambiental; establecer unos requisitos básicos de excelencia que deben cumplir todos los productos certificados; establecer una guía de compra pública verde; etc. La Comisión se compromete a realizar campañas de concienciación y de información. Propone crear un *European Union Ecolabeling Board* (EUEB). En 2010 la UE aprobó el reglamento del EUEB, compuesto por representantes de cada Estado y de forma que todos los sectores afectados estén representados. Sus misiones son desarrollar y revisar los criterios de certificación y asesorar a la Comisión sobre los criterios mínimos de certificación. Pretende una profunda revisión de los criterios y su armonización con los criterios de las certificaciones nacionales citadas (EEB, 2008/30/10; COM(2008) 401/3; Regulación (EC) No 66/2010).

Sistemas de certificación específicos: Se están creando algunos sistemas de certificación que están obteniendo un notable desarrollo, como ocurre sobre todo con la madera, la eficiencia energética, la pesca y el resto de alimentos. Muchos Estados y la UE han desarrollado sistemas de certificado de alimentación ecológica paralelamente a los sistemas reseñados y están alcanzando una cuota de mercado y unos índices de crecimiento muy superiores a los de la mayoría de los productos certificados. La razón es el incremento de la conciencia ciudadana de que los alimentos no certificados no ofrecen garantía de salubridad. Según Naciones Unidas, las ventas de alimentos orgánicos se han duplicado entre 1998 y 2001, lo cual supone un crecimiento anual superior al 20%. En 2001 había en el mundo cerca de 16 millones de hectáreas dedicadas a cultivos orgánicos, muy desigualmente repartidas, siendo Australia (7,6 millones), Argentina (3 millones) e Italia (un millón) los Estados líderes. La UE tiene la cuarta parte de la superficie total y el mercado de alimentos orgánicos ha venido creciendo un 25% al año entre 1995 y 2005. En el norte de Europa las ventas de alimentos orgánicos suponen un 4% del total del gasto en alimentación. En 2005 la superficie de la agricultura era el 4% del total.

Austria alcanzaba un 11% en 2005 y Alemania pretende llegar al 20% para 2010. Aunque Austria, Italia, Grecia, Lituania, etc., están avanzando rápidamente hacia una agricultura sostenible, la mayoría avanza poco (AEMA, 2008: 270 y ss.).

El sistema de certificación de madera más importante es el promovido por la organización Forest Stewarship Council (FSC), creada a principios de los noventa. Es una organización independiente y sin fines de lucro, que agrupa a un gran número de empresas del sector forestal, propietarios y asociaciones conservacionistas y de carácter social de 78 países de los cinco continentes. Aunque recibe ayudas de varios Estados europeos y de la UE, éstos no pueden ser miembros del FSC. Certifica la madera según 10 principios y 56 criterios válidos para todos los bosques del mundo. Tiene dos tipos de certificado: el de gestión forestal y el de la cadena de custodia, que abarca el proceso de producción y de comercialización de los productos de madera. Este sistema alcanzaba 94 millones de hectáreas a finales de 2008, que representaban el 7% de los bosques productivos, y está penetrando especialmente en la OCDE y Sudamérica y Caribe. Se distribuye así: Europa (más de 48 millones de hectáreas y cerca del 47% de la superficie total certificada), Norteamérica (casi 31 mh y 20,1%, respectivamente), Sudamérica (11,31%), África (3,4%), Asia (2,08%) y Oceanía (1,55%). El área boreal es la de más rápido crecimiento, con gran diferencia sobre el resto. Es la certificación con mayor ritmo de crecimiento: en el periodo 2004-2008 su ritmo medio fue cercano al 12% anual (www.sfc.org).

El Marine Stewardship Council (MSC) es la certificación más importante de pesca sostenible. Se creó en 1997 impulsada por Unilever y WWF, en 1999 se independizó de ambas y ahora cuenta con el soporte de una amplia variedad de organizaciones. En 2005 la FAO adoptó sus requisitos de sostenibilidad. Los productos certificados crecen a fuerte ritmo. A principios de 2004 había certificado 191 productos en 15 países; en noviembre de 2008, 1.900 productos (pescado congelado y fresco) habían obtenido la certificación en 40 países (www.msc.org).

Sistemas de gradación de productos: Tratan de ofrecer al público sistemas de etiquetado muy simples que gradúen las variaciones de algunas características. El más popular es la gradación A-G sobre la eficiencia energética de los frigoríficos. Se trata de un sistema sencillo y transparente en el que cada letra viene acompañada de un color y ha dado lugar a que los productos más eficientes sean los más vendidos. La Comisión pretende revisar este sistema y en 2008 realizó una consulta entre los grupos relevantes afectados. Las mejoras deberían venir por: la reducción de la escala mediante la eliminación

del mercado de los productos de más baja calidad; dar al sistema un carácter dinámico (de forma que se adapte al avance tecnológico); informar sobre los aspectos negativos de los productos más eficientes (hay lavadoras eficientes, pero que tienen largos procesos de lavado). Se produciría un gran avance si el sistema se extendiera, al menos, a los grupos de consumos principales (COM (2008) 40; BEUC, 2008*a*).

Guías de consumo verde: Numerosos países ofrecen información sobre consumo sostenible en Internet. En la página web de la Agencia de Protección Ambiental de Dinamarca se dan directrices sobre compra verde. Esta labor la hace en Noruega la Fundación para la Producción y el Consumo Sostenibles; en Suecia, la Comisión Nacional de Compra Sostenible, y en EE UU, la Agencia de Protección Ambiental. El gobierno sueco ha realizado en los últimos años varias campañas para sensibilizar a los consumidores y, entre otros instrumentos, tiene en Internet una "Guía del consumidor" que permite comparar precios, rendimientos, consumos de energía e impactos ambientales de 14 categorías de productos. La UE ha creado un guía verde de compra pública y pretende realizar otra general (COM(2008) 400/2).

3.3.2. Políticas selectivas

Consumos principales

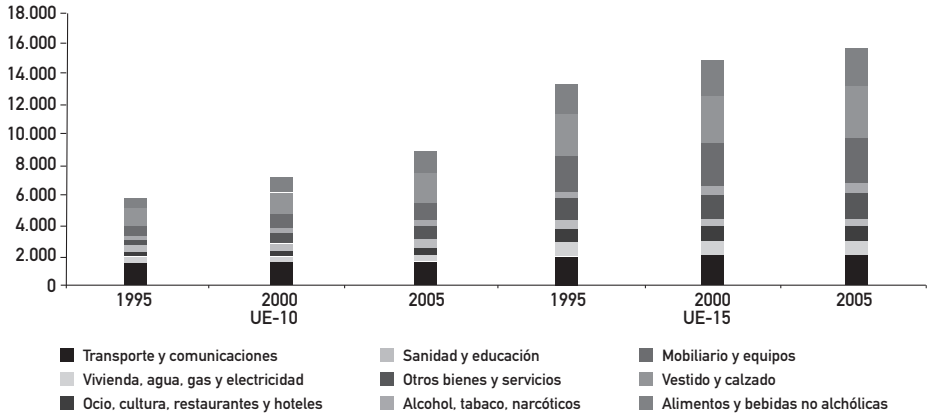
Hay numerosos estudios, algunos de ellos promocionados por la UE, como el informe EIPRO (2006), de identificación de los consumos principales (Michaelis y Lorek, 2004; Weidema *et al.*, 2005, etc.). Coinciden en que tres áreas de consumo son causantes de la mayor parte de los impactos: alimentación y bebidas, transporte privado y vivienda, incluyendo la construcción, la calefacción y el agua caliente, los electrodomésticos y los muebles. En conjunto, se les considera responsables del 70-80% de los impactos ambientales, el 70% del consumo de materiales y de energía, del 90% del uso de suelo y el 60% del gasto. Cada uno de los tipos consume más del 15% de los materiales y la energía y el porcentaje de renta dedicados a estas categorías son el 27%, el 14% y el 16%, respectivamente, en la UE-15. El porcentaje de renta dedicado a la vivienda (construcción, muebles y electrodomésticos) y al transporte tiende a crecer y a disminuir el dedicado a la alimentación, aunque crece en términos absolutos. En el gráfico 2 se ordenan los consumos de arriba abajo, según la rapidez de crecimiento, y se contabilizan según el gasto per cápita en dólares constantes del año 2000 (AEMA, 2008: 269 y ss.; COM(2008) 397 final).

La vivienda consumía el 26,2% de la energía en 2001 (solo por detrás de la industria, con un 27,7%) y el de electricidad viene creciendo un 2,2% al año, a

pesar de que mejora la eficiencia de la vivienda y de los electrodomésticos. La calefacción supone el 70% del consumo energético de la vivienda y el agua caliente el 14% (Michaelis y Lorek, 2004: 24, 30; AEMA, 2008: 21, 271).

GRÁFICO 2

EVOLUCIÓN DE LAS RENTAS DEDICADAS A LOS CONSUMOS PRINCIPALES EN LA UE-10 Y UE-15



FUENTE: AEMA (2008: 268).

El transporte de viajeros es el tipo de consumo que crece más rápido, el de mayor impacto en la calidad de vida en las ciudades. El ratio de pasajeros-kilómetros recorrido se ha venido incrementando al ritmo del PIB en la UE-15 en los últimos años, llegando el transporte privado a alcanzar una cuota de mercado del 80%. En el periodo 1990-2006 la movilidad por carretera se incrementó en un 61%, pero el aumento del consumo energético fue del 29%, debido a que la eficiencia mejoró un 20%. Sin embargo, tal y como hemos visto en el capítulo 12, la escalada de 2005-2008 en los precios del petróleo provocó el principio de una revolución en el transporte, que se consolidará con nuevas escaladas (AEMA, 2005: 38; Focus Group, 2009: 8).

Los mayores impactos de la alimentación proceden de la producción, del transporte y distribución y de la elaboración industrial, siendo mucho menores los de las actuaciones de aprovisionamiento (desplazamientos) y los de cocinado. La magnitud de los impactos dependen de dónde son producidos (transporte), de la cadena de producto (producción, procesado, empaquetado, preservado, distribuido, etc.) y del tipo de alimentos producidos (carne, pescado, verduras, cereales, productos orgánicos, convencionales, etc.). Los incrementos de renta han originado un mayor consumo de carne, de lácteos y de bebidas. El consumo anual de carne a escala mundial se ha multiplicado por cuatro entre 1961 y 2006, con una media de

43 Kg/persona (en la UE-15 es de 91 Kg/persona). Estas tendencias aumentan la necesidad de tierra agrícola, agua y energía, pero el tipo de carne consumida determina variaciones grandes de esa necesidad. Producir ganado vacuno duplica el uso de tierra de los cerdos; los pollos requieren menos tierra que los cerdos. Una superficie equivalente al 10% de la tierra europea se dedica a la producción de cuatro bebidas (cerveza, vino, café y té). Teniendo en cuenta el alto consumo de zumos de frutas, se estima que la superficie de tierra requerida por estas bebidas puede ser igual a la dedicada a la producción de alimentos. Y, aunque hay un límite fisiológico para incrementar los consumos de carne y grasas, no existe uno claro para estas bebidas. El consumo de pescado se ha multiplicado por cuatro entre 1950 y 2005. Los nutricionistas recomiendan el pescado frente a la carne. Pero hemos esquilmado el océano y las piscifactorías ya producen el 40% del pescado. El 37% de la pesca mundial se convierte en piensos, detrayendo esta pesca de la alimentación humana directa. Las piscifactorías demandan tierra para la producción de alimentos de peces. Además, "las granjas de ganado y las piscifactorías se han convertido en desastres ecológicos" (Halweil y Nierenberg, 2009: 131); requieren grandes cantidades de piensos, de antibióticos, de ansiolíticos (en el caso de granjas) y generan grandes cantidades de residuos. Por último, la agricultura ecológica consume un 30-50% de energía (según productos) que la industrial, evita las emisiones de CO_2 que existe en la tierra, no genera contaminación, etc. (Omán *et al.*, 2007).

La sostenibilidad de la alimentación requiere no utilizar o reducir mucho el consumo de proteínas animales, utilizar alimentos ecológicos, regionales y de temporada, que tienen un procesamiento mínimo, y minimizar el empaquetado. Una política de promoción de una alimentación sostenible depende, sobre todo, de tres parámetros: información, disponibilidad y precios. Así que los alimentos de mejor calidad deben poder ser localizados fácilmente; sus precios deben ser iguales o inferiores a los del resto de alimentos; y todo ello debe estar acompañado de campañas públicas de información. Los agricultores que logran la certificación no se ven estimulados a mejorar su práctica. Por ello debería establecerse un sistema de certificación progresivo, como es el caso del sistema de 5 estrellas. Las subvenciones irían aumentando con el número de estrellas (Buitenkamp, 2008, EEB).

Productores: En el lado empresarial hay dos tipos de empresas particularmente relevantes. Por un lado tenemos pequeñas empresas innovadoras con una misión ecológica y social. Son las llamadas *empresas David*. Han creado nichos de mercado (econichos), pero se muestran incapaces de alcanzar un mercado de masas. Por otro lado, tenemos grandes empresas que piensan que la mejora ambiental les beneficia o les puede beneficiar en el futuro. Tienen un gran poder para promover

un consumo de masas de productos ecológicos. Pero su actitud es mucho más tibia y pragmática. Son las llamadas *empresas Goliat*. Para avanzar hacia un mercado de masas de productos ecológicos es necesario que se incremente el número de empresas del primer grupo y que mejoren su *marketing* y que se fortalezca la política ambiental de las segundas. Por otro lado, empiezan a proliferar las empresas de distribución que garantizan que sus productos son ecológicos. Aparecen en todos los campos. Hemos comentado que crecen rápidamente las empresas que obtienen el ecolabel europeo. En EE UU Las empresas Ecofish y Cleanfish se han especializado en la búsqueda y comercialización de pesca sostenible; Tyson Food garantiza que sus pollos no son tratados con antibióticos; Ikea vende muebles con certificación SFC (Halweil y Nierenberg, 2009: 146).

3.4. ACTUACIÓN SOBRE EL SISTEMA DE ACCESO

Las modificaciones propuestas en el sistema de provisión permitirían un acceso a los bienes y servicios ecológicos desconocido hasta este momento. Pero la capacidad de acceder a ellos depende del poder adquisitivo y sus precios relativos. El poder adquisitivo de la gran mayoría de la población de los países desarrollados permite una compra verde, pero el bajo nivel de concienciación hace que, de momento, sea muy difícil lograr su masificación. Urge poner en marcha mecanismos para conseguir a corto plazo, al menos, la igualación de precios entre los dos tipos de productos. Pero es necesario, además, reducir el volumen de consumo, y esto solo se puede conseguir reduciendo las rentas de la clase consumidora.

Hemos visto que el grupo de consumidores denominado mayoría temprana está dispuesto a comprar productos certificados en cuanto bajen los precios. Necesitamos una RFE para producir un cambio rápido, es decir, eliminar las subvenciones dañinas para la sostenibilidad e implantar impuestos escaladores sobre el consumo de recursos. Pero tal política no es posible en la UE. Como paso intermedio se debería promover una sustancial reducción del IVA sobre los productos certificados, una medida que fue sugerida por el Libro Verde sobre Política Integrada de Producto de la Comisión Europea (COM(2007)380; COM(2008) 428 final). Pero esta medida tampoco parece probable a corto plazo y es muy probablemente que antes el petróleo y muchos minerales estratégicos estarán sumidos en una escalada de precios semejante a la de 2007-2008.

Hemos visto que los incrementos de productividad resultaron en un aumento de las rentas salariales y en una reducción de las horas laborales desde finales del siglo XIX hasta el siglo XXI. Los incrementos de productividad seguirán impulsando (sin cambiar las estructuras del sistema) el aumento salarial y la reducción del

tiempo de trabajo. Aunque las encuestas de opinión han venido indicando que en la OCDE la mayoría de los trabajadores declaran estar dispuestos a reducir sus rentas para tener más tiempo libre, en la práctica, la gran mayoría se resiste a reducir su renta, aunque se muestra dispuesta a congelarla para reducir el tiempo de trabajo. Este deseo confirma la actitud, conocida en psicología, de valorar mucho más lo que tenemos que lo que podemos alcanzar en el futuro. Sin embargo, una minoría creciente se muestra ya partidaria de intercambiar renta por tiempo libre. En Suecia un sexto de los trabajadores prefiere una importante reducción del tiempo laboral, a pesar del recorte salarial (Schor, 2010).

Los comportamientos indicados nos muestran un gran potencial de congelación salarial y uno menor de reducción. Sin embargo, la demanda de reducción del tiempo de trabajo se ve frenada, cuando no anulada, por las habituales normas rígidas sobre el tiempo de trabajo. Pero hay excepciones. Algunos países europeos están dando respuestas a esta demanda. Promueven jornadas laborales reducidas, la ampliación de los periodos de permiso para cuidar a los hijos pequeños y la concesión de periodos sabáticos. Los Países Bajos tienen el porcentaje más alto de trabajo parcial, gracias a leyes incentivadoras. Viene impulsándolo desde la década de los ochenta y desde el 2000 todos los trabajadores tienen derecho a un horario laboral reducido. La ley exige a los patronos que permitan jornadas reducidas a los trabajadores que la soliciten. Además, se incentiva la jornada reducida (3/4 de jornada a cada uno) para parejas con niños pequeños. Bélgica, Finlandia, Suecia y Dinamarca tienen también permisos para formación, cuidado de los hijos y periodos sabáticos. Suecia concede 15 meses de permiso por cada hijo con el 80% del salario (312; Graaf, 2010).

EPÍLOGO

EVALUACIÓN GENERAL DE LA TRANSFORMABILIDAD Y DE SU TENDENCIA

Para analizar las posibilidades transformadoras de nuestra sociedad volvemos a retomar la teoría del ciclo adaptativo. Hemos visto que la resiliencia es la habilidad para crear, testar y mantener la capacidad adaptativa, es decir, la capacidad de los sistemas para conservar sus funciones vitales frente a los cambios exteriores, y que en los sistemas naturales una resiliencia alta viene determinada por una relativamente baja conectividad y un potencial elevado, debido a una abundante biodiversidad. En el capítulo 7 hemos definido el concepto de transformabilidad y los factores que la determinan: potencial, conectividad y panarquía. Estos factores necesitan ser adaptados debido a las características diferenciales de los SSE: insostenibilidad en la etapa histórica actual y atemporalmente por el potencial de inteligencia de sus miembros. Pero no es necesario cambiarles el significado, sino tener en cuenta sus características peculiares cuando se aplican a los SSE. Este capítulo, que es de cierre, tiene la misión de analizar (de forma muy genérica, por la complejidad de la tarea) la situación actual y la dinámica futura de la capacidad del SSE general para transformarse, en base a la información que aparece en los capítulos anteriores.

1. POTENCIAL

El potencial cuantifica la cantidad de elementos constructivos que tiene un sistema. En la naturaleza el potencial es un factor siempre positivo. Crece con el aumento de la cantidad de biomasa, de la diversidad biótica, de la redundancia, etc. Por el contrario, en los SSE actuales su inherente insostenibilidad determina que gran parte del potencial de origen social esté al servicio del mantenimiento de la estructura actual: es el PP. Pero también se viene desarrollando con ritmo creciente un potencial necesario para construir SSE transformados: PT. La magnitud y ritmo de acumulación del PT muestra la capacidad de un SSE para transformarse. Desglosamos el potencial general en natural y de origen social, el cual está formado por los potenciales social, tecnológico, construido, institucional, financiero y humano.

1.1. POTENCIAL NATURAL

Resulta evidente que se está produciendo un rápido agotamiento de los recursos de la corteza terrestre y de destrucción y degradación de los ecosistemas. El "Informe Evaluación de los Ecosistemas del Milenio" afirma que "las actividades humanas han puesto al planeta al borde de una masiva destrucción de especies [...] y las presiones sobre los ecosistemas se incrementarán mundialmente en las próximas décadas, a menos que cambien las actitudes y acciones humanas" (MEAB, 2006*a*: 3, 17). El crecimiento económico mundial está acelerando el agotamiento de combustibles fósiles y de minerales.

Los procesos de agotamiento de los combustibles fósiles y de muchos de los minerales estratégicos intensifican el ritmo de destrucción del potencial natural. A medida que se van agotando los yacimientos tradicionales (que son los más accesibles) no queda más remedio que buscar recursos en lugares poco accesibles y frecuentemente de gran fragilidad e importancia biótica (los polos o el fondo marino) o de gran riqueza ecológica (selvas tropicales). La disminución de la riqueza de los yacimientos de minerales aumenta el volumen de excavación para obtener una misma cantidad de mineral, multiplicándose los impactos ambientales. Las explotaciones de yacimientos petrolíferos no convencionales son especialmente impactantes. Casos paradigmáticos son el muy conocido vertido de la plataforma petrolífera *Horizon* de BP en el golfo de México y las explotaciones de arenas bituminosas en la provincia canadiense de Alberta. Ésta es una minería a cielo abierto, por lo que se desforestan extensas zonas, se destruye la tierra agrícola y se extrae el subsuelo hasta llegar al yacimiento. Consume cerca de 400.000 metros

cúbicos de agua al año y crea gran cantidad de residuos. Se consumen grandes cantidades de gas natural: por cada unidad energética de gas natural se logran 5-6 unidades de petróleo. Se emiten 40 millones de toneladas de CO_2 al año y gran cantidad de gases tóxicos (http://en.wikipedia.org).

Por otro lado, se está intensificando el uso de sustitutos del petróleo dentro del paradigma convencional, los cuales no tienen potencial para ser una alternativa y son, además, la causa de múltiples impactos ambientales. Por ejemplo, el fuerte apoyo político a la sustitución de gasolinas por agrocombustibles está dando lugar a tremendos impactos ambientales (aparte de sociales) en países No-OCDE: tala de bosques, proliferación de cultivos transgénicos y de grandes áreas de monocultivo, a la intensificación del consumo de agua y de energía, etc.

Se puede concluir que se sigue intensificando la destrucción de la naturaleza y de los recursos de la corteza terrestre, y que ambos fenómenos se retroalimentan, aunque también se manifiestan elementos positivos. El encarecimiento de los recursos impulsa comportamientos individuales y políticas de ahorro, de eficiencia y de sustitución por recursos renovables.

1.2. POTENCIAL DE ORIGEN SOCIAL

Potencial social: El potencial social es un factor muy importante de la transformabilidad de las sociedades. Hemos visto que está formado por las redes y normas que facilitan la coordinación para el beneficio mutuo de las organizaciones sociales. Tiene tres dimensiones: la estructural (redes), la relacional (las normas compartidas que forman códigos de comunicación y permiten la confianza) y la cognitiva (la identidad común de la red). Hay que distinguir entre potencial social formal e informal. El primero está constituido por relaciones que se producen dentro de organizaciones y, al mismo tiempo, las conforman. El segundo se refiere a redes informales basadas en normas implícitas y en la mutua confianza y reciprocidad. El potencial social formal se refiere a organizaciones estructuradas y jerarquizadas y, en ellas, las relaciones son entre individuos y organizaciones. A pesar de ello, solo se puede conseguir un alto potencial formal si las relaciones se basan en la confianza y la reciprocidad, las cuales determinan el grado de legitimidad de las instituciones y la cohesión social de las organizaciones.

En este momento se están produciendo dinámicas que destruyen el capital social y otras que lo refuerzan. La globalización destruye la cohesión social, al promover el individualismo, la marginación de los más débiles, creando así el caldo de cultivo de ideologías separadoras: nacionalismo, fundamentalismo religioso, xenofobia, etc. Agudiza la polarización de la distribución de las rentas,

el crecimiento de la pobreza [la desnutrición alcanza ya aproximadamente a la mitad de la población mundial (Pimentel y Pimentel, 2006)], el vaciado de poder de las instituciones representativas y con ello de subversión del juego democrático (por la dependencia creciente de las decisiones que adoptan poderes exógenos) y el recorte de derechos civiles como consecuencia de la "guerra al terrorismo" o las políticas de ajuste económico (negación de facto a los sindicatos del derecho a la negociación de sus condiciones de trabajo), etc. Por ello, cada vez es más difícil que las instituciones de gobierno generen confianza y reciprocidad, lo cual lleva a que las sociedades se despreocupen cada vez más de la política. En este contexto los partidos de extrema derecha se fortalecen y están llegando a influir decisivamente en las políticas públicas.

Paralelamente al proceso de debilitamiento del potencial social, aparecen múltiples iniciativas, sobre todo a escalas regional y local, que lo refuerzan: promoción de economías descentralizadas y sostenibles, reforzamiento de la cohesión social propiciando la participación en los asuntos de gobierno y aplicando medidas dirigidas a proteger a las capas sociales más vulnerables, etc. Esto es lo que hemos visto en las sociedades en emergencia energética, el movimiento social mundial que crece más rápidamente. Además, hay múltiples ONG que trabajan en la defensa de los derechos humanos (contra la vulneración de los principios democráticos, la discriminación de género y la pena de muerte, lucha contra la pobreza y la xenofobia, integración de minorías marginadas y muchísimos más). Algunas de ellas se organizan planetariamente y otras, de carácter nacional, crean plataformas internacionales. Estas organizaciones refuerzan la cohesión de comunidades y de personas a escalas territoriales amplias, incluso mundiales, lo cual es parte de que lo se suele denominar globalización alternativa.

Esta dualidad también se manifiesta en la geopolítica. Por un lado, es evidente el clima de confrontación internacional por el acceso a los recursos escasos. Por el contrario, la necesidad de superar la crisis económica y financiera y el hecho de que el mundo sea crecientemente multipolar están provocando un protagonismo cada vez mayor del G-20 y, en consecuencia, un debilitamiento del G-8. Además, en el campo militar se está produciendo (sobre todo por iniciativa del presidente Obama y de Rusia) un proceso de reducción de los arsenales atómicos y de otras medidas de distensión, como la eliminación del proyecto de instalación de escudos antimisiles en países limítrofes con Rusia. A ello hay que añadir otros desarrollos positivos en la cooperación internacional en los campos ambiental (especialmente en la lucha contra el cambio climático) y de las energías renovables (sobre todo con la creación de IRENA).

Es indudable que las tendencias contradictorias tienen un carácter dispar. Las tendencias de debilitamiento del potencial social son el resultado del funcionamiento del sistema económico globalizado, y por ello son muy fuertes, permanentes e inciden en el conjunto de las sociedades. Por el contrario, las tendencias de fortalecimiento nacen y se desarrollan, sobre todo, en el seno de las sociedades, frecuentemente a escala de gobiernos regionales y municipales, pero aún carecen de un carácter sistémico, aunque están llamadas a alcanzarlo por la crisis energética, porque son manifestaciones de la función de revuelta adaptativa a los cambios que protagonizan los entes de los niveles más bajos de los sistemas complejos. Tampoco tienen carácter sistémico los acuerdos puntuales de cooperación que se suelen alcanzar en la cúspide de la jerarquía.

Potencial tecnológico y construido: El potencial tecnológico y construido de perpetuación (PP) está formado por tecnologías intensivas en capital, generadoras de poco empleo, universales, centralizadoras, utilizadoras de recursos no renovables y generadoras de grandes impactos ambientales. Se aplican en cualquier punto del planeta, sin tener en cuenta las particularidades locales: cultura, potencial humano, recursos, medio ambiente, clima, etc. Entre las trayectorias tecnológicas más representativas se encuentran la nuclear, buena parte de la ingeniería genética y de la nanotecnología, las centralizadoras de la información, las que queman combustibles fósiles (especialmente en el transporte), etc.

El PP construido se refiere a la dotación de edificios, infraestructuras, máquinas, productos de consumo duraderos, etc., que consumen recursos no renovables, y este potencial es enorme, porque se viene acumulando desde el principio de la industrialización. Entre ellos se encuentran: edificios, vehículos, máquinas, sistemas de producción, electrodomésticos, etc., de baja eficiencia energética y reciclabilidad; las plantas de producción eléctrica a partir de combustibles fósiles y energía nuclear; los vehículos de transporte que usan petróleo; las infraestructuras de extracción, transporte, transformación y distribución de combustibles fósiles; las plantas de generación eléctrica a partir de combustibles fósiles; las instalaciones de la cadena de producto nuclear; etc.

Por el contrario, el potencial transformador (PT) tecnológico es descentralizado (se adapta a las particularidades de cada región), intensivo en trabajo, poco intensivo en capital, no consume energía no renovable y está compuesto de una gran variedad de tecnologías, que frecuentemente son adaptaciones locales de tecnologías básicas, y de plataformas o infraestructuras que permiten el uso simultáneo de múltiples tecnologías. Por ejemplo, carreteras con utilización separada de vehículos individuales, colectivos, bicis, etc. Lo forman, en principio, los sistemas

energéticos de captación de energía solar, la producción de hidrógeno a partir de ellas, las tecnologías de producción limpia, de transporte colectivo de masas, etc. Decimos en principio porque la energía con la que se incrementa este potencial construido debe ser renovable y los materiales usados deben ser reciclados. Entendemos la tecnología en sentido amplio, también entran en este campo nuevas formas organizativas, como los ecosistemas industriales y la organización ecoefectiva de las empresas que forman las cadenas de producto.

Los fondos destinados a I+D se siguen empleando de forma preferente en las tecnologías de uso de los combustibles convencionales (extracción y combustión de combustibles fósiles, en sus diferentes modalidades de tracción de vehículos o producción de electricidad) y en la energía nuclear. La inversión en el desarrollo de las tecnologías nucleares sigue siendo la más importante. También se están destinando partidas muy importantes a tecnologías que hasta ahora han tenido poca o nula relevancia, como las de secuestro de CO_2, de producción de agrocombustibles, de gasolina a partir de carbón y gas natural, de obtención de combustibles de pizarras bituminosas, etc. Además, las políticas de centralización de la producción de energías renovables y de creación de grandes redes de distribución contribuyen a reforzar el PP.

Comparado con el PP, el PT es muy reducido, aunque en algunos campos existe una fuerte dinámica de acumulación del mismo. El PT en energía ha venido creciendo de forma explosiva y se está pasando de una fase en que se concentraba en un reducido grupo de países, a otra en la que se amplía mucho el número de países OCDE y se fortalece mucho en el resto del mundo. Tal como hemos visto en el capítulo 13, en 2009 la inversión mundial en renovables fue el 48% del total, en la OCDE la potencia eléctrica renovable instalada anualmente supera a la convencional y en la UE la potencia renovable instalada fue un 53% del total en 2008 y un 62% en 2009. El PT de transporte crece aceleradamente en los países emergentes del sureste asiático y en el golfo Pérsico, debido al desarrollo del ferrocarril (pero se debe considerar como PP el desarrollo masivo de la alta velocidad ferroviaria, porque forma parte del paradigma dominante el incremento constante de la velocidad) y a la intensificación de políticas destinadas a la promoción de la movilidad no motorizada y del transporte colectivo, sobre todo en ciudades y áreas metropolitanas. Todo ello tiene el condicionante citado del frecuente uso de energías no renovables y un bajo reciclado de materiales. Existen ya políticas que obligan al reciclado de aparatos al final de su vida, que prohíben la venta de productos de baja eficiencia energética, que promocionan el ecodiseño, etc. También incrementa a fuerte ritmo el PT el desarrollo de la agricultura ecológica, aunque su cuota de

mercado todavía es baja. En la industria asistimos a un fortalecimiento de PT, aunque lento, con el desarrollo de la gestión sistémica de la producción, la responsabilidad ampliada del productor o el SPS. Es indudable que la crisis energética acelerará el despliegue del PT.

POTENCIAL FINANCIERO: El potencial financiero se refiere a la capacidad de inversión de una sociedad. La mayor parte de este potencial lo controlan los Estados, la banca y las GET no financieras. El de los Estados proviene de su capacidad de recaudación y endeudamiento. Tradicionalmente los Estados se endeudaban con el banco central y tenían el poder de emitir moneda, aunque debían ejercerlo de forma moderada para evitar su devaluación. Pero los Estados han perdido el control sobre los bancos centrales y con ello el de definir la masa monetaria y su potencial financiero, aunque siguen administrando el dinero de los Estados. Como consecuencia, los Estados deben pagar altos intereses por los préstamos que obtienen de los mercados financieros (que son especulativos por naturaleza) para hacer frente a sus deudas. Por último, los países miembros de la UE ven doblemente limitada su capacidad financiera, al estar sometidos, además, al poder del banco central europeo y a las durísimas políticas de contención del gasto que ha impuesto Alemania y que ha sido muy aplaudido por el Banco Central Europeo.

Por otro lado, el sistema financiero actual determina que los bancos sean los que crean la mayor parte del dinero a partir del crédito, porque un crédito da lugar a una cascada de nuevos créditos, puesto que buena parte del mismo se mantiene en cuentas del mismo banco. Pero el crédito privado solo se desarrolla cuando las economías crecen a buen ritmo, porque este hecho supone una garantía de que los préstamos serán devueltos. Por el contrario, cuando se produce una crisis económica los bancos restringen mucho el crédito, y ello produce una agudización de la crisis, porque estrangulan la actividad económica. Esta dinámica provoca la paradoja de que cuando una sociedad necesita poseer más un alto potencial financiero para mantener y reactivar la actividad económica, éste se reduce drásticamente. Por último, el sistema financiero absorbe ahorro local y lo canaliza hacia grandes centros financieros del mundo, lo cual empobrece a las comunidades.

Así que el sistema financiero imperante es un factor que provoca una alta vulnerabilidad en el modelo económico dominante, por lo que debe ser sustituido por otro capaz de mantener un alto potencial financiero en cualquier circunstancia. Los cambios se deben producir a todos los niveles. Los Estados deben recuperar el control de sus bancos centrales y crear un amplio sistema de crédito

público y apoyar el desarrollo de los sistemas de crédito comunitarios. En realidad, existen numerosas iniciativas en este ámbito, pero no tienen la dimensión conjunta que se necesita. Proliferan organizaciones financieras para el desarrollo comunitario (CDFI) en el mundo anglosajón, que adoptan objetivos y mecanismos de funcionamiento muy diversos y que canalizan el ahorro local en la financiación de proyectos que fortalecen las economías locales y su sostenibilidad. Entre sus múltiples fórmulas, tenemos bancos cooperativos, uniones de crédito locales, fondos de inversión ética, fondos de desarrollo comunitario, sistemas de microcréditos e incluso bancos *verdes* internacionales, como Triodos Bank, etc. (www.neweconomics.org).

Los países de la OCDE empiezan a tomar medidas paliativas de algunos de los males actuales puestos de manifiesto en la crisis: creación obligatoria de un fondo de reserva de las entidades financieras para ayudar a bancos con problemas; impuestos sobre beneficios financieros, sobre transacciones rápidas; separación entre banca comercial y de inversión, etc. Algunos Estados proponen gravar las transacciones internacionales a corto plazo. Pero no parece que estas iniciativas vayan a ir muy lejos de momento, aunque al final no va a quedar otro remedio que adoptarlas para superar la crisis energética.

POTENCIAL INSTITUCIONAL: El PP institucional lo forman las instituciones diseñadas para mantener el sistema actual. Existen múltiples instituciones para impulsar el desarrollo de la energía fósil (Agencia Internacional de la Energía, OPEP, etc.) y nuclear (Agencia Internacional de la Energía Nuclear, EURATOM, etc.), el libre comercio (OMC, UE, NAFTA, MERCOSUR, etc.), las políticas económicas antisociales e insostenibles (FMI, BM, etc.). Por el contrario, el potencial institucional al servicio de la transformación hacia la sostenibilidad es precario y en muchos casos inexistente. No existen instituciones internacionales que hagan cumplir los acuerdos de protección de la naturaleza, ni que impulsen un modelo económico sostenible. Se viene insistiendo en la creación de un organismo de este tipo con rango igual a la OMC (y que constituya un contrapoder frente a las decisiones de la misma que son lesivas para el medio ambiente). De momento, la única opción con probabilidades de fructificar es que se cree dentro de la ONU un órgano (posiblemente un PNUMA reforzado) que recoja las actuaciones en medio ambiente de sus múltiples organizaciones, pero sin capacidad de hacer cumplir los acuerdos internacionales. Aunque el PICC es una organización de la ONU que supone un avance importante, no pasa de la labor de facilitadora y coordinadora.

Por otro lado, en los últimos años se ha producido un debilitamiento de la OMC y del FMI. Además, el BM empieza a tener en cuenta la sostenibilidad a la hora de decidir su apoyo financiero a proyectos de desarrollo. También sería un paso correcto la propuesta surgida dentro del G-20 de reforzar y democratizar el FMI para controlar el sistema financiero internacional. La propia creación del G-20 es un paso democratizador frente al G-8. Sin embargo, la decisión institucional más importante ha sido la creación en enero de 2009 de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). Por otro lado, se empiezan a crear Ministerios de Desarrollo Sostenible o de Sostenibilidad, dotándoles a veces de atribuciones muy importantes, como la integración del área energética o la responsabilidad de coordinar todas las áreas de gobierno para aplicar con éxito las estrategias para mitigar los impactos del techo del petróleo. El caso más llamativo es el del estado australiano de Queensland, que, además de tener un Ministerio de Sostenibilidad, está elevado a la categoría de viceprimer Ministerio, encargado de elaborar y aplicar una estrategia de transformación para hacer frente al techo del petróleo.

Resumiendo, la creación de un adecuado potencial institucional de transformación es una de las tareas más retrasadas, como consecuencia de que la mayor parte de las instituciones de gobierno aún no han asumido el reto de la sostenibilidad y, en especial, el que supone el fin de la era de los combustibles fósiles. Pero el panorama empieza a cambiar y el ritmo de cambio se irá acelerando a medida que se desarrolle la crisis energética.

POTENCIAL HUMANO: El potencial humano se refiere a la capacitación de la población trabajadora. Comprende, entre otros aspectos, el conocimiento para desarrollar tecnologías y para utilizar el potencial construido. Pero hemos visto que hay un PP tecnológico y un PT. Por lo tanto, hay potenciales humanos de perpetuación y de transformación, y resulta evidente que domina el primero. Esto es comprensible hasta cierto punto, por el dominio del PP, pero el sistema educativo debe adaptarse a las necesidades cambiantes, aunque las universidades sean, en general, instituciones conservadoras y de gran inercia. Por ejemplo, en las Escuelas de Ingeniería se suele dar mucho peso académico a la energía nuclear, a pesar de que la potencia instalada en la UE fue solo el 2% del total en 2009. Por el contrario, la formación universitaria en energías renovables es muy precaria, a pesar de que la potencia renovable instalada fue el 62% del total. Una causa muy importante de la inercia imperante son los sistemas de evaluación de los méritos de investigación, que premian la que se hace en los campos y con los enfoques acordes con los intereses de los centros de poder académicos, que suelen tener una relación simbiótica con los centros de poder económico. Por el contrario, a

las investigaciones que buscan respuestas fuera del paradigma dominante se les niega carácter científico y fondos, tal como hemos visto en el capítulo 9.

Sin embargo, el desarrollo de la crisis energética va a poner de manifiesto de forma imperiosa las verdaderas prioridades de investigación y formación: acelerar el crecimiento del PT tecnológico y construido en renovables, almacenamiento energético, hidrógeno, célula de hidrógeno, transporte colectivo de cercanías, plantas recicladoras, etc., lo cual supone el fortalecimiento del PT industrial, porque hay que construir la infraestructura de producción necesaria.

2. CONECTIVIDAD

La conectividad de los SSE indica su grado de flexibilidad o rigidez para cambiar. Una conectividad alta indica una baja capacidad para adaptarse a los cambios. Y una conectividad excesivamente baja supone un SSE que se muestra incapaz de controlar los cambios de sus elementos, entrando así en procesos caóticos. Por ello es necesario que la conectividad sea intermedia (se encuentre dentro de la ventana de viabilidad). En última instancia, la conectividad determina en qué medida un SSE está en disposición de transformarse para adaptarse a los cambios de su entorno. La conectividad está básicamente determinada por tres subfactores: jerarquía, flujos y paradigma.

2.1. JERARQUÍA

La jerarquía de los SSE es cualitativamente diferente de la natural. La jerarquía natural es escalar, embebida y no excluyente. Está determinada por la estructura organizativa de la red de vida. Por el contrario, la jerarquía de los SSE es predominantemente del tipo de control. No está embebida porque no está predeterminada por la estructura del sistema, sino por la estructura de toma de decisiones (el nivel de democracia existente, los medios de comunicación y de participación, la existencia de grupos de poder al margen de cualquier representación política, etc.). Es excluyente porque el poder está altamente centralizado y muy pocos individuos ejercen realmente el control. Al ser una jerarquía basada en privilegios, la cúspide jerárquica trata de mantener el poder en cualquier circunstancia, por lo que trabaja intensamente para multiplicar la cantidad e intensidad de las conexiones con las que los nodos principales ejercen su poder de control sobre el sistema. Así que las elites tienden a elevar la conectividad y con ella la

rigidez del sistema, aunque se muestran crecientemente divididas y esta tendencia se agudiza a medida que se desarrolla la crisis energética.

Los nodos de poder están trabajando (no sin contradicciones) en el despliegue de la lógica del sistema: culminar el proceso de liberalización de la economía, convirtiéndose así el mercado en la fuerza configuradora no solo de la economía, sino también de la sociedad. Si bien es cierto que ya en el siglo XIX se realizó gran parte de la transformación estructural de las sociedades precapitalistas, el capitalismo aún no ha acabado de convertirse en un único sistema económico a escala mundial. Todavía no ha culminado su despliegue, que, tal y como dice Polanyi (1989: 71), supone "subordinar la sociedad a las leyes del mercado desregulado", que es lo que define como la "gran transición". Sin embargo, el colapso energético obligará a los Estados a retomar el protagonismo ante la necesidad de una transformación rápida.

Los nodos principales del sistema están controlados por el poder simbiótico de las potencias, las instituciones financieras y las GET. Está cambiando el papel que desempeña cada actor y el grado de control sobre el sistema de cada uno. Las GET controlan gran parte de la industria, del comercio, los principales medios de comunicación e influyen decisivamente en los órganos de gobierno. Más aún, se está reforzando la simbiosis entre el poder político y el económico, resultando en un trasvase de poder del ámbito político al económico que se manifiesta de múltiples formas. Los gobiernos se ven impulsados a propiciar enormes concentraciones de capital para crear *empresas campeonas*, es decir, capaces de competir con éxito en el escenario mundial (a pesar de que estas empresas monopolizan sectores nacionales enteros) y a defender sus intereses a escala internacional. A su vez, estas empresas se han convertido en el soporte económico de los partidos gobernantes. Esta simbiosis se traduce en el trasvase de ejecutivos entre las dos áreas de poder.

Pero no nos encontramos con la emergencia de una especie de gobierno en la sombra de las GET (que se suele plasmar en la idea, que se defiende en ámbitos de la izquierda, del poder omnipresente del "gran capital") porque éstas: frecuentemente compiten entre sí por el control de los mercados; siguen centrándose en mercados sectoriales, aunque algunas buscan diversificar sus campos de actuación; suelen defender estrategias tecnológicas enfrentadas (energías renovables frente a energía nuclear; en automoción, tecnologías del hidrógeno frente a convencionales o híbridas); los intereses de un sector suelen ser contradictorios con los de otros (Cargill, empresa que monopoliza el mercado mundial de cereales, se ha posicionado en contra

de la masificación de los agrocombustibles por la disminución de los cereales para alimentación que provoca); Dow Chemical ha liderado la presión a favor de que el Gobierno de EE UU exija unos altos estándares de eficiencia de los vehículos, como medio de reducir el consumo y abaratar los precios energéticos, que reducen su margen de beneficio (Ball, 2008); los intereses de las compañías de seguros son contradictorios con los de las empresas de los sectores energéticos convencionales, debido al cambio climático que provocan; etc.

A escala planetaria vemos un cambio rápido del mundo monopolar que aparece con el derrumbe de la Unión Soviética a otro multipolar, debido al debilitamiento progresivo de la hegemonía estadounidense, del papel de Europa y a la emergencia de nuevas potencias mundiales (principalmente China, la India, Rusia y Brasil) y regionales (especialmente Argentina y Venezuela en Latinoamérica, Irán y Arabia Saudí en el golfo Pérsico, etc.). El G-20 es una muestra de multipolaridad. El debilitamiento de la hegemonía estadounidense no solo se debe a la emergencia de nuevas potencias, sino a factores endógenos: agotamiento de gran parte de sus reservas de petróleo y gas; desaparición de buena parte de sectores industriales; debilitamiento progresivo del dólar como divisa internacional; incapacidad financiera para seguir manteniendo sus ejércitos, desplegados por todo el mundo; etc. Este factor es particularmente importante, porque controla las rutas marítimas. El policentrismo creciente está llevando a la imposibilidad de sacar adelante la nueva ronda liberalizadora (la del milenio) y a la incapacidad de que el G-20 impulse transformaciones estructurales en el ámbito financiero.

Estas tendencias se están fortaleciendo por el desarrollo de la crisis. La crisis de 2008-2010 ha impactado especialmente en las potencias tradicionales (EE UU, UE y Japón), mientras que los países emergentes (especialmente China, la India y Brasil) siguen creciendo mucho. Se multiplican las señales de parada o retroceso en el proceso globalizador. Las potencias adoptan medidas restrictivas del comercio, que dan lugar a veredictos condenatorios (y las consiguientes sanciones económicas) por parte de la OMC, pero prefieren pagarlas para mantener sus políticas. EE UU está impidiendo que el capital foráneo se haga con el control de empresas clave y sigue subsidiando las exportaciones de cereales y de agrocombustibles. Por otro lado, los países exportadores de petróleo y gas siguen adelante con su proceso nacionalizador de recursos y controlan ya más del 80% del petróleo y gas mundial. Una dinámica semejante se está produciendo en el caso de los materiales estratégicos. El desarrollo de la crisis energética reforzará las tendencias policéntricas.

2.2. FLUJOS

RECURSOS NATURALES : La globalización económica provoca el aumento de los flujos internacionales de materias primas y productos elaborados. Las causas son varias: la competencia internacional presiona hacia la especialización productiva y, por lo tanto, hacia una creciente dependencia de la economía internacional; el aumento del peso económico de las GET conlleva que éstas multipliquen las plantas productivas por todo el mundo y que privilegien los intercambios entre ellas (este comercio intraempresarial representa el 40% del comercio); los países OCDE exportan grandes cantidades de residuos a países No-OCDE. A pesar de que los intercambios entre países son muy numerosos, algunos estudios muestran que los países concentran la mayor parte en un número no superior a diez países (también la naturaleza limita el número de conexiones importantes), pero la dinámica librecambista tiende a superar esta cifra.

La importancia de los flujos es muy diversa. Algunos determinan una gran dependencia (generan una gran conectividad), como los energéticos, los materiales estratégicos y los de alimentos. Seis países (EE UU, Canadá, Argentina, Australia, Francia y Rusia) acaparan la gran mayoría de las exportaciones de cereales, mientras crece el número y la dependencia de países que los importan. Los flujos internacionales de materiales tienen un marcado rasgo unidireccional. Dos tercios de las exportaciones físicas de materiales (combustibles fósiles —60% del peso—, materiales abióticos y productos semimanufacturados con una cuota conjunta del 20%) provienen de países No-OCDE y se dirigen a los países OCDE, con los que producen bienes y servicios de alto valor. El comercio de algunos metales (aluminio, acero, níquel, cobre, etc.) y de combustibles fósiles ha venido creciendo mucho en las últimas décadas.

Sin embargo, hemos visto que la elevación de los costes del transporte de mercancías en el periodo 2002-2008, como consecuencia de la escalada en los precios del petróleo, provocó la disminución física de los flujos mundiales de mercancías y la reducción del comercio a larga distancia. También disminuyó el transporte aéreo de viajeros a larga distancia en los países OCDE. Así que la dependencia de la gran mayoría de los países de un número cada vez más reducido de países exportadores provoca un aumento de la conectividad general. Por el contrario, las escaladas de precios del petróleo obligan a fortalecer la autosuficiencia de los países, reduciendo la conectividad. La nueva escalada de precios que se está gestando provocará cambios superiores a los de la escalada anterior, al intensificar la mejora de la eficiencia y la sustitución del petróleo por energías renovables, lo cual supondrá una reducción muy fuerte de la conectividad general del SSE general.

Financieros: En el campo financiero se alcanzó en 2008 el mayor grado de liberalización y con ello una enorme intensidad y velocidad de los flujos financieros, contribuyendo a un aumento de la conectividad internacional. Pero la escalada de precios del petróleo provocó el colapso del sistema financiero y una aguda crisis económica. Un resultado ha sido una clara disminución de la conectividad. El G-20 trata de ordenar el caos financiero internacional mediante un mayor control de las entidades financieras por parte de los Estados, la atribución de un poder fiscalizador al FMI y la introducción de un impuesto sobre los movimientos financieros a corto plazo. Tales medidas reducirían la conectividad general del sistema financiero, aunque no es probable que las dos últimas iniciativas se pongan en marcha a corto plazo. Sin embargo, la nueva escalada provocará, aparte de una brusca contracción de los flujos financieros por la crisis (lo cual reduce la conectividad), transformaciones del sistema tendentes a limitar los flujos especulativos (mayor transparencia, fiscalidad sobre los mismos, etc.) e ilegales (como los paraísos fiscales). Estas medidas aumentan una conectividad basada en la cooperación.

De información: En la naturaleza la información se crea mediante los cambios genéticos que provoca el proceso adaptativo y se almacena en los códigos genéticos. En los SSE la información genera cambio cultural, así que la transmisión cultural es un vehículo de cambio sociopolítico. La información tiene dos orígenes: la riqueza de conocimientos que existe en una sociedad y la mayor o menor transparencia de la gestión de los órganos de poder. El primero determina el potencial de mejora de una sociedad y el segundo condiciona el grado con el que una sociedad puede aplicar ese potencial. La gestión transparente permite que la población conozca las decisiones adoptadas, las razones de las mismas y los colectivos a los que benefician o penalizan, y comprobar si lo decidido se cumple. Por otro lado, el grado de conocimiento que la población tiene sobre la información existente depende de dos factores: la voluntad de los detentadores de la información de hacer partícipes de ella a toda la sociedad creando canales de acceso y que la información transmitida sea la más relevante y de forma comprensible para la población. Si falla cualquiera de estas premisas, nos encontraremos con una sociedad con información deficiente y, por ello, con una capacidad disminuida para protagonizar transformaciones.

Los medios de comunicación de masas buscan legitimar (con matices diferentes) el sistema socioeconómico y político vigente, insistiendo en que es el único capaz de resolver los problemas y garantizar un futuro de bienestar (identificado como creciente capacidad de consumo y alargamiento de la vida)

y filtrando la información no acorde con la premisa anterior, especialmente la que muestra la creciente vulnerabilidad del sistema capitalista y las transformaciones necesarias para superar la vulnerabilidad del sistema actual en la dirección de la sostenibilidad. Pero esta función cada vez resulta más difícil: la agravación de los problemas sociales y de insostenibilidad son cada vez más difíciles de ocultar y emergen canales de comunicación no controlados.

Temas como el proceso de destrucción de la naturaleza o el cambio climático (e incluso el de la escasez del petróleo en algunos medios) aparecen con intensidad creciente en los medios de comunicación de masas. Por otro lado, proliferan las redes de comunicaciones transformadoras, basadas en la utilización de medios de comunicación difusos (como la telefonía móvil o Internet), que incrementan dramáticamente la conexión entre agentes y la velocidad de propagación de la información. Se habla de la sociedad en "contacto perpetuo". Estos medios se especializan en determinados temas, mientras que los medios convencionales tienen un carácter generalista. La conexión difusa rompe el monopolio de los grandes centros de información y aumenta la probabilidad de que se produzcan manifestaciones en respuesta a hechos traumáticos, convocadas en periodos muy cortos de tiempo. Estas redes facilitan flujos de información permanentes, identifican las carencias de conocimiento, crean nudos de expertos para solventarlas, proponen respuestas a los grandes problemas actuales. Al mismo tiempo, los nudos se convierten en depositarios de conocimiento y memoria, que se renuevan y refuerzan constantemente, dando por ello respuestas cada vez mejores a los problemas emergentes, ganando credibilidad social y fortaleciendo la capacidad de la sociedad civil para incidir en las instituciones de gobierno.

2.3. PARADIGMA

La información disponible determina el paradigma dominante de una sociedad y ésta es un elemento decisivo de la conectividad de una sociedad. Hemos comentado que esta civilización ha desarrollado un proceso de confrontación con la naturaleza, debido a su paradigma dominante, y que éste se basa en las premisas siguientes: considerar a la especie humana como la culminación del mundo biótico; la naturaleza es caótica y peligrosa; la especie humana mejorará su bienestar mediante el aumento continuo de las rentas; el mejor sistema económico para lograr el crecimiento ilimitado de las rentas es el de libre mercado, lo cual determina que la competencia sea el rasgo más importante de la actividad económica y, en última instancia, de la actividad social; el crecimien-

to ilimitado está garantizado por el desarrollo científico técnico Este paradigma ha sido posible por la utilización de los combustibles fósiles.

A pesar de la fortaleza de este paradigma, existen numerosos datos que muestran un proceso de erosión del mismo, como consecuencia de varios factores: su sistemática deslegitimación por parte del estamento científico, la creciente evidencia de los procesos destructivos que producimos en la naturaleza y la evidencia cada vez mayor de la escasez de combustibles fósiles y de materiales estratégicos. Algunas de las premisas del paradigma que sufren mayor erosión son: la separación entre la especie humana y la naturaleza; la existencia de recursos ilimitados y de sumideros infinitos; la capacidad de la ciencia y la tecnología para resolver los problemas; la eficiencia del mercado liberalizado; la competencia como motor del bienestar general, etc. Este hecho deslegitima de forma creciente el estatus social de la economía ortodoxa o neoclásica. Son ejemplos el fracaso de los economistas ortodoxos en la previsión de las crisis económicas y que en la última década la gran mayoría de los premios Nobel de Economía hayan recaído en autores críticos (Stiglitz, Akerlof, Hahneman, Aumann, Schelling, Sen, Krugman, Ostrom, etc.).

Pero, a pesar del proceso de erosión del paradigma dominante, las grandes masas que se han beneficiado del crecimiento económico y de una relativa estabilidad política y social en los países OCDE y en las potencias emergentes no se muestran, en general, proclives a realizar cambios profundos debido a una deficiente comprensión de los problemas y a su incapacidad para imaginar otra sociedad. Sin embargo, hechos como la agudización de la crisis energética y el colapso económico consecuente, la escasez creciente de otros recursos, como tierra y agua, y el agravamiento del cambio climático van a producir cambios rápidos en la percepción de la situación y de las respuestas necesarias en grandes masas de la población. En este contexto, el desarrollo explosivo de las sociedades en emergencia energética y sus respuestas a la situación las van a convertir en un referente obligado.

3. PANARQUÍA

Hemos visto que en la naturaleza cada sistema de referencia se ve sometido a influencias contrarias. El ecosistema que lo contiene actúa como estabilizador, ayudando a superar los colapsos. Por el contrario, los sistemas que forman parte del ecosistema de referencia promueven cambios, al ser los primeros en reaccionar a las variaciones de su entorno. La confluencia de los factores de

estabilidad y de cambio logra un equilibrio perfecto entre el mantenimiento de las funciones básicas y la adaptación a los cambios. Esta situación no se da en los SSE: el sistema superior (los organismos políticos y económicos planetarios) no busca la estabilidad de los SSE, sino el cambio en forma de proceso liberalizador de la economía, que profundiza su insostenibilidad; y los SSE inferiores actúan de forma ambivalente: se resisten a los cambios promovidos por el sistema superior, pero un número creciente de ellos han empezado a transformarse para hacer frente al techo del petróleo. Los procesos indicados suponen básicamente la inversión de la panarquía, por lo que el SSE general, sin mecanismos estabilizadores, se vuelve muy inestable y colapsará.

No obstante, el desarrollo de la crisis energética tiende a amortiguar la inversión de la panarquía, porque acelera el proceso de debilitamiento del sistema general de poder y fortalece el movimiento transformador a escala inferior. A escala superior se acelera la pérdida de hegemonía de EE UU y la emergencia de nuevas potencias, lo cual se traduce en la consolidación de un mundo cada vez más multipolar, con intereses frecuentemente divergentes, sobre todo, entre las potencias emergentes y las tradicionales. La divergencia de intereses es particularmente aguda en el caso de los combustibles fósiles, porque su escasez intensifica la lucha de las potencias por el acceso al petróleo y al gas. También, las GET aparecen crecientemente divididas, en especial, por las diferentes formas de enfocar el futuro. Mientras que unas se mantienen en el ámbito de las materias primas y tecnologías tradicionales (éste es el caso de muchas empresas petroleras), otras consideran que, sobre todo, en el campo energético se van a producir grandes transformaciones, lo que les lleva a apostar por el desarrollo de la energía solar, la eficiencia, el hidrógeno, etc. A escala inferior (regiones y ciudades) también la crisis energética produce cambios en la panarquía, al pasar de una mera resistencia a la especialización y marginación a las que condena a la gran mayoría de las mismas a iniciar procesos transformadores, tal como hacen los sistemas inferiores de la naturaleza.

La parálisis creciente de los centros políticos mundiales tiene una doble repercusión. Si bien tiene la positiva de provocar el estancamiento (cuando no el retroceso) de los procesos liberalizadores, el SSE general podría realizar una positiva, pero debe ser definida con precisión para evitar efectos contraproducentes. No sería positivo que se dedicaran a estabilizar la situación actual, imitando a la naturaleza, porque el sistema necesita transformarse con urgencia. Tampoco sería positivo que liderara el proceso transformador, porque éste solo puede generarse en el seno de cada sociedad. Por ello, su función debería ser promocionar la cooperación internacional para acelerar un proceso

transformador generalizado, definiendo un marco de coordinación de (y ayuda a) los procesos transformadores. Lo cual supondría, entre otros aspectos: ordenar el reparto justo del gas y del petróleo y de los materiales estratégicos, aparte de cooperar para acelerar el despliegue de los sistemas tecnológicos de recambio. Ello supone crear fondos internacionales para acelerar el despliegue de las energías renovables, el avance de la eficiencia energética, el desarrollo del transporte colectivo, etc. Pero no es probable que esto ocurra con la intensidad suficiente, al menos al principio del colapso, porque cada país buscará respuestas individuales. Aunque es de esperar que posteriormente impere la cordura, porque solo la cooperación puede acelerar los procesos transformadores.

4. EVALUACIÓN CONJUNTA DE LA TRANSFORMABILIDAD GENERAL

El análisis de los elementos de transformabilidad muestra que ésta es muy baja en el SSE general: el PT es muy pequeño, la conectividad es grande y la panarquía está básicamente invertida. Por lo cual es muy alta la probabilidad de colapso ante un problema tan grave como la crisis energética. Sin embargo, la transformabilidad crece rápidamente, aunque no quede tiempo para hacer una transición tranquila y ordenada y, además, el acelerado proceso de destrucción de la naturaleza y de agotamiento de otros recursos naturales agrava la situación. Por ello se trata aquí de evaluar la incidencia previsible de tal fenómeno.

En el caso del potencial aparecen claras tendencias positivas y en proceso de rápido fortalecimiento. Destaca por su intensidad la creación acelerada de PT en energías renovables y en transporte, por el creciente énfasis en el colectivo de viajeros y en las mercancías por modos eficientes. Estos procesos se van a intensificar en el futuro. Por el contrario, son muy escasos los avances en los PT institucional, de acumulación de potencial industrial acumulado, de infraestructuras y humano. Y no es previsible un cambio radical de ellos en un futuro próximo. Menos previsible es la evolución futura del potencial social, donde se enfrentan procesos generales de disminución y las redes de nodos de potenciación. Aunque es previsible que la primera reacción de las poblaciones ante las crisis sea ahondar en la erosión del potencial social, después se irá viendo con claridad que la única salida es la potenciación del capital social. Así que el crecimiento de algunos PT y el cuasi estancamiento de otros potenciales darán paso a un fortalecimiento rápido del PT general.

Hemos visto que la conectividad del sistema general está bajando de forma clara, pero es muy alta, debido especialmente a que el paradigma dominante se mantiene fuerte, aunque sufra un proceso de erosión acelerado. La conectividad cae por las transformaciones en la geopolítica mundial, por los conflictos de intereses entre las GET, por la tendencia a acortarse y a debilitarse de los flujos físicos del comercio internacional, por el fortalecimiento de los nuevos medios de comunicación difusa, etc. El agravamiento de la crisis energética va a acelerar el proceso de debilitamiento de la conectividad: va a acelerar el policentrismo mundial por la mejor respuesta a ella de las potencias emergentes; el comercio mundial se redebilitará y se reforzará a escala regional; muchos elementos del paradigma dominante serán fuertemente erosionados (existencia de recursos ilimitados; capacidad de la tecnología para resolver esta limitación; bondad del modelo económico liberalizado; nuestro dominio sobre la naturaleza; etc.); se fortalecerán las GET inmersas en el desarrollo de tecnologías transformadoras y se debilitarán las otras; los medios de comunicación de masas no podrán mantener su discurso monolítico; etc.

La panarquía está invertida en líneas generales. El sistema superior (los organismos políticos y económicos planetarios) no busca la estabilidad de los SSE, sino que promueve cambios que suponen una mayor insostenibilidad y, en consecuencia, vulnerabilidad. Pero la inversión no es total, porque los SSE inferiores actúan de forma ambivalente: se resisten a los cambios promovidos por el sistema superior, pero también suelen actuar de forma transformadora. El agravamiento de la crisis energética va reducir en gran medida la inversión de la panarquía (lo que al menos invalidará su capacidad de profundizar en la lógica del sistema capitalista) por el reforzamiento del policentrismo mundial y porque en el nivel inferior de la escala jerárquica van a tener un crecimiento explosivo las iniciativas transformadoras.

Como consecuencia de las tendencias indicadas, la transformabilidad del sistema crecerá de forma acelerada en el futuro próximo, aunque en general no alcanzará el nivel necesario como para evitar el colapso, pero a medio plazo podrá alcanzar cotas suficientes. Aunque si descendemos el análisis a un nivel de Estados, nos encontraremos desde unos pocos que serán impactados débilmente hasta muchos que colapsarán ya en las primeras etapas de la crisis. A escala de regiones y municipios veremos el crecimiento explosivo de iniciativas transformadoras, que acabarán siendo implantadas en los niveles jerárquicos superiores. La revuelta, una vez más, será de abajo arriba.

BIBLIOGRAFÍA

ABALOFIA, M., BIGGART, N. (1992): "Competitive Systems: A Sociological View", en Ekins, P. y M. Max-Neef, *Real-Life Economics*, Londres, Routledge.

ABEL, T., STEPP, J. R. (2003): "A New Ecosystems Ecology for Anthropology", *Conservation Ecology*, 7 (3).

ABEL, N. *et al.* (2006): "Collpse and Reorganization in Social-Ecological Systems: Questions, Some Ideas, and Policy Implications", *Ecology and Society* 1 (1).

ADAMIDES, E. D., MOUZAKITIS, Y. (2008): "Industrial ecosystems as technological niches", *Journal of Cleaner Production (Availeble online 23 May 2008).*

ADAMSON, K.-A. (2009): *Small Stationary Survey*, Fuel Cell Today.

AD-HOC WORKING GROUP (2010): *Critical raw materials for the EU*, European Commission.

ADRIAANSE, A. *et al* (1997): *Resource flows. The material basis of industrial economies*, Washington DC, World Resource Institute.

AEMA (AGENCIA EUROEA SOBRE MEDIO AMBIENTE) (1998): "Making Sustainability Accountable", Newsletter 17 December.

— (2004): *Energy subsidies in the European Union: A brief overview*, Copenhague, AEMA.

— (2005): *Market-based instruments for environmental policy in Europe*, Copenhague, AEMA.

— (2006): *Using the market for cost-effective environmental policy*, Copenhague, AEMA.

— (2007): *Size, structure and distribution of transport subsidies in Europe*, Copenhague, AEMA.

— (2008*a*): *Effectiviness of environmental taxes and charges for managing sand, gravel and rock extraction in selected EU countries*, Copenhague, AEMA.

— (2008*b*): *Time for Action-towards sustainable consumption and production in Europe*, Copenhague, AEMA.

— (2009): *Europe?s onshore and offshore wind energy potential*, Copenhague, AEMA.

AGUILERA KLINK, F. (1992): "Sobre la irrelevancia conceptual de la economía ambiental", Barcelona, *III Jornadas de Economía Crítica.*

AIE (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY) (2008): *World Energy Outlook 2008*, París, IEA.

— (2010*a*): *Medium-Term Oil and Gas 2010*, París, IEA.

— (2010*b*): *World Energy Outlook 2010*, París, IEA.

— (2010*c*): *Technology Roadmap. Concentrating Solar Power*, AIE.

ALEKLETT, K. (2010): "Peak coal in China" [www.energybulletin.net/print/55011].

ALLENBY, B. R. (2009): "The Industrial Ecology of Emerging Technologies", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 13, núm. 2.

ALTERRA *et al.* (2007): *Review of existing information on the interrelations between soil and climate change*, Alterra, Wageringen UR, The Netherlands.

ALTMANN, M. *et al.* (2004): *Potential for Hydrogen as a Fuel for Transport in the Long Term (2020-2030)*, Comisión Europea.

ALTVATER, E. (1993): *The Future of the Market*, Londres, Verso.

AMBAH, F. S. (2008): "Saudies prepare for post-petroleum era", Philly. Com.

ANC (THE NATIONAL ACADEMIES) (2007): *Coal: Research and Development to Support National Energy Policy*, The National Academies.

ANDERIES, J. M. *et al.* (2004): "A Framework to Analyze the Robustness of Social-Ecological Systems from Institutional Perspective", *Ecology and Society*, núm. 9 (1).

ANDERSON, R. (1998): *Mid-Course Correction*, The Perregrinzilla Press, Atlanta.

APME (ASSOCIATION OF PLASTIC MANUFACTURERS IN EUROPE) (2004): *An analysis of plastics consumption and recovery in Europe 2002-2003*, Bruselas, Bélgica.

APPLEYARD, D. (2010): "PV Global Outlook: A Bright Future Shines on PV", *Renewable Energy World.*

ARROW, K. *et al.* (1995): Economic Growth, Carrying Capacity and the Environment", *Science*, 28/04/95.

ASHTON, W. (2008): "Understanding the Organization of Industrial Ecosystems", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 12, núm. 1.

AUNOS, A. (1996): *Actualidad forestal del País Vasco*, Fundación BBV, julio/diciembre, Bilbao.

AYRES, R. U. (1989): ?Industrial Metabolism?, en *Technology and environment*, Ausubel, J. y Sladovich, H. (eds.), National Academy Press.

— (2002): "On industrial ecosystems", en Ayres, R. U. y Ayres, L. W. (eds.), *Handbook of Industrial Ecology*, Londres, Edward Elgar.

— (2008): "Sustainability economics: Where do we stand", *Ecological Economics 67*.

BAAS, L. W. (2001): "Developing an Industrial Ecosystem in Rotterdam", *Journal of Clean Production*, vol. 4, núm. 2.

BOONS, F. A. (2004): "An industrial ecology project in practice exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial ecosystems", en *Journal of Cleaner Production 12*.

BAINES, T. S. *et al.* (2007): *State-of-art in product-service systems*, Proc. IMechE, vol. 221.

BAKHTIARI, A. M. S. (2006): "After 'Peak Oil', 'Peak Gas' Too" [www.sfu.ca], marzo.

BARTOLOMEO, M. *et al.* (2003): "Eco-efficient producer servicies. What are they, how do they benefit customery and the environment and how likely are they to develop and be intensively utilised?", en *Journal of Clean Production*, diciembre.

BARTELMUS, P. (2003): "Accounting for sustainable development?, *Ecological Economics 61*.

BATSON, A. (2009): "China Takes Aim at Dolar", *The Wall Street Journal*, 24/03/09.

BARDI, H., PAGANI, M. (2007): *Peak Minerals* [htpp://europe.the oildrum.com/node/3086].

BEDER, S. (1996): "Charging the Earth. The Promotion of Price-Based Measures for Pollution Control", *Ecological Economics*, *January*.

BEHERENDT, D. *et al.* (2003): *Eco-Service Development*, Sheffield (UK), Greenleaf.

BEHERENS, A. (2004): *Environmental Policy Instruments for Dematerialisation of the European Union*, Viena, SERI.

BENYUS, J. (1998): *Biomimicry. Innovation Inspired by Nature*, Nueva York, Quill. William Morrow.

— (2006): "Biomimicry. Innovation Inspired by Nature", *Aspen Ideas Festival*.

— (2009): "What do you Mean by the Term Biomimicry?" [www.biomimicryinstitute.org].

BERMAN, A. (2010): "ExxonMobil's Acquisition of XTO Energy: The Fallacy of the Manufacturing Model in Shale Plays" [www.theoildrum.com/node/6229].

BERMEJO, R. (2005): *Análisis socioeconómico del Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020*, *Cuaderno Bakeaz 69*.

— (2008): *Un futuro sin petróleo. Colapsos y transformaciones socioeconómicas*, Madrid, CIP y Los Libros de la Catarata.

— (2009): "La política de transporte española ante el fin de la era de los combustibles fósiles", en *Economía ecológica: Reflexiones y perspectivas*, en Álvarez Cantalapiedra, S. y Carpintero, O. (eds.), Madrid, Ediciones Ciencias Sociales.

BERMEJO, R., ARTO, I., HOYOS, D. (2010): "The concept of sustainable development and its manipulation", en K. Unceta y A. Arrinda (eds.), *Development Cooperation. Facing the Challenges of Global Change*, *Current Research*, núm. 3.

BERTHOUD, G. (1993): "Market", en Sachs, W., *The Development Dictionary*, Londres, Zed Books.

BEUC (EUROPEAN CONSUMER'S ORGANIZATION) (2002): *Labels and Green Claims*, Bruselas, BEUC.

— (2003): *BEUC Memorandum for the Irish Presidency*, Bruselas, BEUC.

— (2008): *A strong, transparent and proactive pharmacovigilance system*, Bruselas, BEUC.

— (2008): *Input to the Commission Consultation Document on the revision of the EU Energy Labelling Scheme*, Bruselas, BEUC.

BINA, C. (2009): "The Geopolitics of Energy in the Epoch of Globalization", *Workshop International Competition, Rivalry and Conflict.*

BIS (BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS) (2007): *77º Informe Annual*, BIS.

BLAU, J. (2010): "Stakeholders Team Up To Expand Europe's Super-Grid", *Renewable Energy World*.

BLEISCHWITZ, R., BRINGEZU, S. (2007): "Global Resource Management", *Policy Paper 27*.

BNEF (BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE) (2010): *Fossil Fuel Subsidies Outpace Renewables*, BNEF.

BOSCÁ, J. E. *et al.* (2004): "Efectos macroeconómicos de las inversiones en infraestructuras públicas". Jornadas sobre el PEIT, Madrid, 2004.

BRADLEY, R. L. (2007): "Resourceship: An Austrian theory of minerals resources", *Rev. Austrian Econ. (2009)* 20.

BRAND, F. S., JAX, K. (2007): "Focusing the Meaning(s) of Resilience: Resilience as a Descriptive Concept and a Boundary Object", *Ecology and Society*, vol. 12, núm. 1.

BRANGWYN, B., HOPKINS, R. (2008): *Transition Initiatives Primer. Becaming a Transition Town, City, District, Village, Community or even Island*, Transition Network.

BRAUNGART, M., BOLLINGER, A. (2004): *Cradle to Cradle: Redisigning the Relationship between Industry and Nature*, 9th European Round Table on Sustainable Consumption and Production, Bilbao.

BRAUNGART, M., BOLLINGER, A. *et al.* (2003): "Eco-effective design of products and production

systems: eigh theses on methodological and institutional prerequisites", en Seiler-Hausman, J. D. *et al.* (ed.): *Eco-efficiency and Beyond*, Sheffield (UK), Green-leaf.
— (2006): "Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions-a strategy for eco-effective product and system design", *Journal of Cleaner Production 15*.
— (2007): "Cradle to cradle design: creating a healthy emissions- a strategy for eco-effective products and systems design", *Journal of Cleaner Production*, V. 15, Issue 13-14.
BREESE, J., ROOM, D. (2005): "Powering down America: local government´s role in the transition to a post-petroleum world", *Energy Bulleting*, 21/10/05.
BRIGHT, C. (2003): "La historia de nuestro futuro", en Bright, C. *et al.*, *La situación del mundo 2003*, Barcelona, Icaria/WWI.
BRINGEZU, S. (2006): *Materializing Policies for Sustainable Use and Economy-wide Management of Resources*, Wuppertal Institute.
BRINGEZU, S., SCHUTZ, H. (2001): *Total material requirement of the European Union*, Agencia Europea de Medio Ambiente (informe técnico núm. 55).
BRINGEZU, S., SCHUTZ, H. *et al.* (1998): *Material Flows Account*, Eurostat.
— (2001): *Towards Sustainable Resource Management in European Union*, Wuppertal, Wuppertal Papers núm. 121, enero.
— (2004): *Towards a sustainable biomass strategy*, Wuppertal Ppers No. 163, junio.
BRISBANE CITY COUNCIL (2007): *Final Report. A Call for Action*, Brisbane City Council.
BROMLEY, W. D. (1995): "Property Rights and Natural Resource Damage Assessment", *Ecological Economics*, agosto.
BROOK, D. (2010): "The other next big thing: Peer to Peer Carsharing", Carsharing US.
BROWN, L. R. (2008): *Plan B 3.0 Mobilizing to Save the Civilization*, Earth Policy Institute.
— (2009): *Plan B 4.0 Mobilizing to Save the Civilization*, Earth Policy Institute.
— (2010): "Rising Temperatures Raise Food Prices-Heat, Drought and a Failed Harvest in Russia", *Plan B Updates*, Earth Policy Institute.
BUITENKAMP, M. (2008): *EEB?s Vision to European Agriculture 2008-2020*, EEB.
BUKOLD, S. (2010): "Offshore Oil Drilling: Public Costs and Risks are Too High", Global Oil Briefing, núm. 50.
BURNABY CITY COUNCIL (2006): *Global Peak in Oil Production: The Municipal Context*, Burnaby.
BUTLER, J. (2009): *Portable Fuel Cell Survey 2009* [www.fuelcelltoday.com].
CAGT (CENTER FOR GERMAN ARMY TRANSFORMATION) (2010): *Implications of Resource Scarcity On (National) Security*, CAGT.
CALLAGHAN, L. (2008): *2008 Bus Survey*, Fuel Cell Today.
CALLAGHAN, L. *et al.* (2010): *2010 Transport Fuel Cell Analysis*, Fuel Cell Today.
CALLEJA, I. *et al.* (1999): *Natural Resources and the Environment Panel Report*, Sevilla, European Commission Joint Research Centre.
CALLICOTT, J. B. (1999): *Beyond the land ethic: more essays in environmental philosophy*, Albany (Nueva York), State University of New York Press.
CID Working Paper No. 120.
CAN EUROPE *et al.* (2009): "Comments on ERGES Smart Grids position paper", World Future Council.
CAPRA, F. (1996): *The Web of Life*, HarperCollins Publishers, Londres.
CARPINTERO, O. (2006): *La bioeconomía de Georgescu-Roegen*, Montesinos, Madrid.
CARPENTER, A. (2007): *Making Decisions for the Future: Climate Change*, The Premier's Climate Change Action Statement, Western Australia Government.
CARPENTER, S. R., FORLKE, C. (2006): "Ecology for Transformation", *TRENS in Ecology and Evolution.*
CE-DGXI (1998a): *Integrated Product Policy*, Comisión Europea, Bruselas.
CERA (CAMBRIDGE ENERGY RESEARCH ASSOCIATES) (2007): *Engineering Talent Squeeze-"People Deficit"-Likely to Cause Further Delays in Some Oil & Gas Projects through 2010*, CERA [www.cera.com].
CES (CONSEJO ECONÓMICO y SOCIAL) (1990): *Dictamen sobre la resolución del Consejo de las Comunidades Europeas sobre un programa comunitario de política y actuación en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible*, Bruselas, Comisión Europea.
CESE (COMITÉ ECONÓMICO y SOCIAL EUROPEO) (2000): *Dictamen sobre la Comunicación de la Comisión "El medio ambiente en Europa: Hacia donde encauzar el futuro"*, CESE 593/2000, Bruselas.
CHAYKOVSKAYA, E. (2010): "Trillions necessary to maintain Russia's oil production", *The Moscow News* 29/10/10.
CHEN, G. *et al.* (2007): *Peak Oil and its Implications for Hong Kong*, HKSAR Government.
CHERTOW, M. R. (2007): "Uncovering Industrial Symbiosis", *Journal of Industry Ecology*, vol. 11, núm. 1.
— (2008): *Industrial symbiosis* [www.eoearth.org/article/Industrial_symbiosis].
— (2009): "Dynamics of geographically base industrial ecosystems", en M. Ruth y B.

Davidsdottir, *The Dynamics of Regional and Networks in Industrial Ecosystems*, Edwad Elgar.

CHEW, A. (2010): "Germany No Longer Critical To PV Market Growth", *Renewable Energy World.*

CLARK, W. C. *et al.* (2005): "Science for Global Sustainability: Toward a New Paradigm", *CID Working Paper*, núm. 120.

COHEN-ROSENTHAL, E. (2004): "Making sense out of industrial ecology: a framework for analysis and action", en *Journal of Cleaner Production 12.*

CNUMAD (CONFERENCIA DE NACIONES UNIDAS SOBRE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO) (1993): Conferencia de Río 92, Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

— (2002): Cumbre de la Tierra de Johannesburgo, ONU.

COASE, R. H. (1981): "El problema del coste social", *Hacienda Pública Española*, núm. 68.

COHEN, D. (2009*a*): "The Next Oil Shock" [www.energybulletin.net/node/49857].

— (2009*b*): "A Year We Will Live To Regret" [www.energybulletin.net/node/51013].

— (2010): "The shale game shell game" [www.energybulltin.net/print/55004].

COHEN-ROSENTHAL, E. (2004): "Making sense out of industrial ecology: a framework for analysis and action", en *Journal of Cleaner Production 12.*

COI (COMMISSION ON OIL INDEPENDENCE) (2006): *Making Sweden OIL-FREE Society*, G. Persson, Suecia.

COLE, K., CAMERON, J., EDWARDS, C. (1983): *Why Ecomomists Disagree: The Political Economy of Economics*, Londres, Longman.

COLEMAN, J. (2008): "Energy chief: Flat production behind oil prices", *Associated Press.*

COLLINS, T. (2003): "Hacia una química sostenible", en Blount, E. *et al.*, *Industria como naturaleza. Hacia la producción limpia*, Madrid, Los Libros de la Catarata.

COMISIÓN EUROPEA (1992): Comisión de Desarrollo Sostenible del RU (2003): *People, Planet, Prosperity. Policies for sustainable consumption* [www.sd-commission.gov.uk].

COMISIÓN DE DESARROLLO SOSTENIBLE DEL RU (2003): *People, Planet, Prosperity. Policies for sustainable consumption* [www.sd-commission.gov.uk].

COMISIÓN BRANDT (1981): *Diálogo Norte-Sur (Informe Brandt)*, México, D. F., Nueva Imagen.

COMISIÓN EUROPEA (1996): *Communication on Trade and Environment*, Comisión Europea.

— (1997): *Communication on taxes and charges in the Single Market*, Comisión Europea.

— (1999): *From Cardiff to Helsinki and beyond. Report to European Council on integrating environmental concerns and sustainable development into Communities policies*, SEC(1999), 1941.

— (2001): *White Paper. European transport policy for 2010: time to decide*, COM(2001) 370.

— (2001): *Libro Verde sobre la política de productos integrada*, COM(2001) 68 final.

— (2001): *Comunicación sobre el Sexto Programa de Acción de la Comunidad Europea en materia de Medio Ambiente*, COM(2001) 31 final.

— (2001): *Sustainable Production. Challenges & objetives for EU Research Policy*, Comisión Europea, julio.

— (2001): *Propuesta de estrategia de desarrollo sostenible (COM(2001)264 final.*

— (2002): *La tecnología medioambiental en pro del desarrollo sostenible*, COM(2002) 122 final.

— (2003): *Hydrogen Energy Fuel Cells*, Commission European High Level Group.

— (2003): *Report on the Implementation of Community Waste Legislation*, COM(2003) 250 final/3.

— (2003): *Política de Producto Integrada*, COM (2003) 302 final.

— (2003): *Communication on VAT rates other than standard VAT rates*, COM(2008) 380 final.

— (2003): *2003 Environmental Policy Review (Communication)*, COM(2003) 745 final.

— (2004): *Nanotechnologies: A Preliminary Risk Analysis on the Basis of a Workshop Organized in Brussels on 1-2 March 2004*, Bruselas, Dirección General de Salud y Protección del Consumidor.

— (2004): *National Sustainable Development Strategies in the European Union. A first Analysis by the European Union*, Comisión Europea.

— (2007): *HandBook for Trade Sustainability Impact Assessment*, Comisión Europea.

— (2007): *Sustainable Urban Transport Plans*, Technical Report 2007/018.

— (2007): *Comunicación interpretativa sobre residuos y subproductos*, COM(2007) 59 final.

— (2007): *Green Paper on market-based instruments for environment and related policy purposes*, COM(2007) 140 final.

— (2007): *Informe sobre el Plan de Actuación a favor de las Tecnologías Ambientales (2005-2006)*, COM(2007) 162 final.

— (2008): *Proposal for Regulation of the European Parliament and the Council of a Community Ecolabel scheme*, COM(2008) 0401 final.

— (2008): *Proposal for amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the EU greenhouse gas emissions trading in the Single Market*, COM(2008) 16 final.

— (2008): *Communication on the Sustainable Consumption and Production and Sustainable Industrial Policy*, COM(2008) 397 final.

— (2008): *Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the setting of ecodesign requirement as for energy related products*, COM(2008) 399.

— (2008): *Public Procurement for a better environment*, COM(2008) 400/2.
— (2008): *Proposal for a amending Directive 2006112/EC as regards reduced rates of value added tax*, COM(2008) 428 final.
— (2008): *Second Strategy Energy Review. An EU Energy Security and Solidarity Action Plan*, *SEC(2008) 2794*.
— (2008): *The Raw Materials Initiative-Meeting our critical needs for growth and jobs in Europe*, COM(2008) 699.
— (2008): *Communication on the directive on the energy performance of building*, COM(2008) 780 final.
— (2009): *Libro Verde. Rte-T: Revisión de una política*, COM(2009) 44 final.
— (2009): *A sustainable future for transport: Towards an integrated, technology-led an user friendly system*, COM(2009) 279 final.
— (2009): *EU energy and transport in figures*, Bruselas, Comisión Europea.
— (2009): *Incorporación del Desarrollo Sostenible en las políticas de la Unión Europea: Informe de 2009 sobre la estrategia de la Unión Europea para el Desarrollo Sostenible*, COM(2009) 400 final.
— (2009): *Report on the State of Implementation of Integrated Product Policy*, COM(2009)693 final.
— (2010): *EU energy trends to 2030-UPDATE 2009*, Comisión Europea.
— (2010): *Seventh Annual Report from the Commission to the European Parliament: Overview of thirst country trade defence actions against the EU*, COM(2010) 334 final.
— (2010): *A strategy for competitive, sustainable and secure energy*, COM(2010) 639 final.
— (2010): *Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*, COM(2010) 2020 final.

Conely, P., Lambrecht, M. (2010): "Product service as a vehicle for sustainability: Exploring service operations strategies", 3rd International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain. Creating value through green supply chains, ILS 2010.

Consejo Europeo (2001): *Conclusiones de la Presidencia*, SN 200/01.
— (2005): *Conclusiones de la Presidencia*, Consejo Europeo de Bruselas 10255/1/05.
— (2006) *Renewed EU Sustainable Development Strategy*, Council of the European Union 10117/06.

Cook, M. B. *et al.* (2006): "The transfer and application of Product Service Systems: from Academia to UK manufacturing firms", *Journal of Cleaner Production*, vol. 14 Is. 17.

Cooper, T. (2002): "Durable consumption: reflections on product life cycles and the throwaway society", en Hertwich, E. (ed.), *Life-cycle Approaches to Sustainable Consumption*, Lusenburg (Austria), International Institute for Applied Systems Analysis.

Coté, R. P. (2001): *The Evolution of an Industrial Park: The Case of Burnside, Halifax, Canadá* [www.uneptie.org/pc/estate].

Crawford, P. (2003): "A case study in eco-industrial development: the transformation of Burnside Industrial Park", Cohen-Rosenthal (ed.), *Eco-industrial Strategies*, Sheffield, Greenleaf.

Cottrell, J. (2009): *The Double Benefit of EFR: Good practices and interesting ideas in some EU countries*, Seminar: Environmental Fiscal Reform and its Contribution to a Green Economy, Madrid.

Cour des Comptes (2006): *Le reseau Ferroviaire. Une reforme inachevée, une stratégie incertaine*, Gobierno francés.

Crosby, A. W. (1988): *El Imperialismo Ecológico de Europa*, Barcelona, Crítica.

Curtis, F. (2003): "Eco-localism and sustainability", en *Ecological Economics* 46, marzo.

Cummad (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo): *Nuestro Futuro Común*, Madrid, Alianza Editorial.

daly, H. E. (1974): ?The economics of the steady state?, *American Economic Review* (1974), mayo.
— (1989): *Steady-State and Growth Concepts for the Next Century, Economy and Ecology: Towards Sustainable Development*, Londres, Kluwer Academy Publishers.
— (1992): Allocation, distribution, and scale: towards an economics that is efficient, just, and sustainable, Ecological Economics 6 (3) (1992), pp. 185-193.
— Goodland, R. (1994): "An Ecological-Economic Assessment of Reregulation of International Commerce under GATT", *Ecological Economics*, enero.

Danish Ecological Council (2002): *Environmental Budget Reform in Denmark. Policy Paper* [www.ecocouncil.dk].

Davignon, E. (2008): *Informe anual del coordinador europeo. Proyecto prioritario núm. 3. Eje ferroviario de alta velocidad del sudoeste de Europa*, Bruselas, Comisión Europea.

De Belleuve, E. B. *et al.* (1994): "The North American Free Trade Agreement. An Ecological-Economic Synthesis for the United States and Mexico", *Ecological Economics*, enero.

DEFRA (Department For Environment, Food And Rural Affairs) (2007): *UK Biomass Strategy*, Defra [www.defra.gov.uk].

De Groot, R. S. (1994): "Environmental functions and the economic value of natural ecosystems",

en Jansson, A. *et al.* (coed.), *Investing in natural capital: the ecological economics approach to sustainability*, Whashington, D. C., Island Press.

DIARIO DE SESIONES DEL CONGRESO DE LOS DIPUTADOS (2008):*Discurso de don José Luis Rodríguez Zapatero en la sesión de investidura como Presidente del Gobierno*, Sesión plenaria núm. 2, celebrada el 8 de abril de 2008.

DICK-MADSEN, S. (2009): *The Double Benefit of EFR: Good practices and interesting ideas in some EU countries*, Seminar: Environmental Fiscal Reform and its Contribution to a Green Economy, Madrid.

DIEDEREN, A. (2009): *Metal minerals scarcity: A call for managed austerity and the elements of hope* [http://europe.theoildrum.com/node/5239].

— (2010):*Global Resource Depletion*, Delft, Eburon.

DIETZ, T. *et al.* (2003): ?The Struggle to Govern the Commons", *Science* 302.

DOBERS, P. (2009): "Corporate Social Responsability: Management and Methods?, *Corporate Social Responsability and Environmental Management* vol. 16, Issue 4.

DODGE J. C. I. *et al.* (1992): *"An Agenda of Science Environment and Development into 21st Century*, Nueva York, Cambridge University Press.

DOE (US DEPARTMENT OF ENERGY) (2004): *Report for the Congress. A Hydrogen Economy and Fuel Cells: An Overview*, Washington DC, DoE.

— (2004): *Hydrogen Posture Plan*, Washington DC, DoE.

— (2006): *Hydrogen Posture Plan. An Integrated Research, Development and Demostration Plan*, Washington DC, DoE.

DUBYNE, D. (2007b): "The New Silk Road: rail links from China", *Energy Bulletin*, *21/10/07*.

DURNING, A. T. (1994): *Cuanto es bastante. La sociedad de consumo y el futuro de la Tierra*, Barcelona, Apóstrofe.

DYSON, B. *et al.* (2010): *Towards A Twenty-First Century Banking and Monetary System*, Positive Money, NEF y University of Southampton.

EEAC (EUROPEAN ENVIRONMENT AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT ADVISORY COUNCILS) (2008): *Statement: Sustaining Europe for a long Way Ahead"*, EEAC.

EEB (EUROPEAN ENVIRONMENTAL BUREAU) (2004): *European chemicals policy reform. From emotions to facts* [www.eeb.org].

— (2008): *EEB 2008 Annual Conference Report* [www.eeb.org].

ECORYS (2008): *Progress on EU Sustainable Development Strategy*, Comisión Europea.

EDER, P., SOTOUDEH, M. (2001): *Innovation and cleaner technologies as a key to sustainable development: the case of the chemical industry*, Sevilla, Institute for Prospective Technological Studies, Comisión Europea.

EDDINGTON, R. (2008): *The Eddington Transport Study* [www.dft.gov.uk].

EDWARDS, A. (2007): *Property in Totnes: Wizards of wacky West* [www.telegraph.co.uk].

EHA (EUROPEAN HYDROGEN ASSOCIATION) (2010): *EHA contribution to the Consultation on the Energy Strategy for Europe EU 2011-2020*, EHA.

EHRENFELD, J. R. (2007): "Would Industrial Ecology Exist without Sustainability en the Background? *Journal of Industrial Ecology vol. 11*, *núm. 1.*

CHERTOW, M. R. (2002): "Industrial symbiosis: the legacy of Kalundborg", en Ayres, R. y Ayres, L. (ed.), *A Handbook of Industrial Ecology*, Londres, Edward Elgar.

ENGDAHL, W. (2006): "The Emerging Russian Giant Play its Cards Strategically", Centre for Research on Globalization [www.globalresearch.ca].

EPA (ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY) (2002): *Wastewise Update. Building for the Future*, EPA.

EPIA (EUROPEAN PHOTOVOLTAIC ENERGY ASSOCIATION) y GREENPEACE (2007): *Solar Generation IV-2007*, EPIA y Greenpeace.

EPIA (2010a): *Global Market Outlook for Photovoltaic until 2014*, EPIA.

— (2010b): *Unlocking the Sunbelt. Potential of Photovoltaic*, EPIA.

— (2010c): *Solar Generation 6*, EPIA.

— (2010d): "Thin Film go mainstream", EPIA.

— (2010e): "Concentrator Photovoltaics Technology has Reached Commercialization", EPIA.

ERDMENGER, J. R. (2005): "The financial power end environmental benefits of green purchasing", en C. Erdmenger (ed.), *Buying into the Environment*, Sheffield (UK), Greenleaf.

EREC (EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL) (2010): *Re-Thinking 2050. A 100% Renewable Energy Vision for the European Union*, Bruselas, EREC.

— (2010): *Energy Infrastructure*, EREC.

EREC y GREENPEACE (2010): *Energy (R)evolution. Towards a fully renewable energy supply in the EU 27*, EREC y Greenpeace.

ERGEG (EUROPEAN REGULATORS GROUP FOR ELECTRICITY & GAS) (2009): *Position Paper on Smart Grids. An ERGEG Public Consultation Paper*, ERGEG, E09-EQS-30-40.

ERIKSEN, T. (2009): *World Oil Forecast-Update November 2009* [www.energybulletin.net/print/50793].

ERKMAN, S. (1998): *Vers une écologie industrialle*, Editions Charles Léopold Mayer, París.

— (2002): "The recent history of industrial ecology", en Ayres, R. y Ayres, L. (ed.), *A Handbook of Industrial Ecology*, Londres, Edward Elgar.

ESTIA *et al.* (2005): *Concentrating Solar Power-Now*, ESTIA.

ETZIONI, A. (1992): "The I and We Paradigm", en Ekins, P. y M. Max-Neef, *Real-Life Economics*, Londres, Routledge.

EUROSTAT (2008): *Energy, Transport and environmental Indicators*, Eurostat.

EUROSTAT (2008): *Statistics in focus. Agriculture and fisheries*, Eurostat.

EWEA (EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION) (2006): *NOFUEL. Wind Power without fuel* [www.ewea.org].

— (2009a): *Oceans of Opportunity. Harnessing Europe`s largest domestic energy resource* [www.ewea.org].

— (2009b): *Pure Power. Wind energy targets for 2020 and 2030* [www.ewea.org].

EWG (ENERGY WATCH GROUP) 2007): *Coal: Resources and Future Production*, EWG-Paper núm. 1.

FAESTA (THE FOUNDATION FOR THE ECONOMICS OF SUSTAINABILITY) (2007): *Envisioning a Sustainable Ireland from an Energy Availability Perspective*, Dublin, Environmental Protection Agency.

FABE, D., O`CONNORS, J. (1990): "La lucha por la naturaleza: la crisis ambiental y la crisis del ambientalismo en los Estados Unidos", *Ecología Política*, *Ecología Política*, núm. 1, Madrid.

FABER, M. *et al.* (1996): *Ecological Economics: Concepts and Methods*, Edward Elgar, Chelthenham.

FARLEY, J., CONSTANZA, R. (2002): "Envisioning shared goals for humanity: a detailed, shared vision of a sustainable USA in 2100", *Ecological Economics* 43.

FCH JU (FUEL CELLS AND HYDROGEN JOINT UNDERTAKING) (2009): *Multi-Annual Implementation Plan 2008-2013*, FCH JU.

FEDRICO, D., TUKKER, A. (2009): *Blueprint for European Sustainable Consumption and Production*, Bruselas, EEB.

FEM (FORO ECONÓMICO MUNDIAL) (2001): *2001 Environmental Index*, FMI.

FERGUSON, N. (2010): "Complexity and Collapse. Empires on the Edge of Chaos" [www.informationclearinghouse.info/article24874.htm].

FERRER, G., GUIDE, D. R. (2002): "Remanufacturing cases and state of the art", en Ayres, R. y Ayres, L. (ed.), *A Handbook of Industrial Ecology*, Londres, Edward Elgar:.

FIGENSCHOU, A., SIMMONS, M. (2008): *A peak-oiler, but still in the closet? IEA`s 2008 report* [www.energybulletin.net/node/47234].

FISHER-KOWALSKI, M., HABERL, H. (2000): "Ecología Política", *El metabolismo socioeconómico*, núm. 19.

FITCH, A. (2008): "CGC urged to consider dollar policy" [www.thenational.ae/article].

FLAVIN, C. (2003): "Prólogo", en Bright, C. *et al.*, *La situación del mundo 2003*, Barcelona, Icaria/WWI.

FOCUS GROUPS (2009): *Report: The Future of Transport*, Directorate-General for Energy and Transport, European Commission.

FOLKE, C. *et al.* (2005): "Adaptive Governance of Social-Ecological Systems", *Environmental Resources*, 30.

— (2006): "Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analysis", *Global Environmental Change* 16.

FRENCH, H. (2000): *Vanishing Borders: Protecting the Planet in the Age of Globalization*, Nueva York, W. W. Norton & Company.

— (2002):"Remodelando el gobierno mundial, en Flavin, C. y otros, *La situación del mundo 2002*, Barcelona, Icaria.

MASTNY, L. (2001): "El control de los delitos internacionales contra el medio ambiente", en Brown, L. R. *et al.*, *La situación del mundo 2001*, Barcelona, Icaria.

FRIEDEMANN, A. (2007): "Peak Soil: Why cellulosic ethanol, biofuels are unsustainable and a threat to America", *Energy Bulletin 13/04/07*.

FUCHS, D., LOREK, S. (2004): *Sustainable consumption. Political debate and actual impact*, Viena, Sustainable Europe Research Institute (SERI).

FUEL CELL TODAY (2010): *2010 Portable Fuel Cell Analysis* [www.fuelcelltoday.com].

FUNTOWICZ, S. O., RAVETZ, J. (1994): "Emergent complex systems", *Futures* 26, 568-582.

GALLOPIN, G. C. (1991): "Human dimensions of global change: linking the global and the local processes", *Int. Social Science Journal*, 130.

— (2002): "Planning for Resiliency: Scenarios, Surprises and Branch Points", en Gunderson, L. H. y Holling, C. S., *Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, Londres, Island Press.

GAO (GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE) (2007): *Crude Oil. Uncertainty about Future Oil Supply Makes It Important to Develop a Strategy for Addressing a Peak and Decline in Oil Production*, GAO-07-283.

GARCÍA, E. (2002): *Consumo y medio ambiente en el País Valenciano*, Barcelona, Centre de Cultura Contemporánea.

GARNER, A., KEOLEIAN, G. A. (1995): *Industrial Ecology: An Introduction*, Michigan University.

GARDNER, G., SAMPRAT, P. (1999): "Forging a Sustainable Materials Economy", en Brown, L. R. *et al.*, *State of the World*, Nueva York, Norton/WWI,.

GARDNER, G., ASSADOURIAN, E. (2004): "Reconsiderando la vida buena", en WWI, *La situación del mundo*, Barcelona, Icaria.

GARDNER, G., PRUGH, T. (2009): "Sembrar una economía sostenible", *La situación del mundo 2009*, WWI, Barcelona, Icaria.

GAY, C. (2010): "Accelerating Solar: A Look at the Next Decade", Renewable Energy World.

GENG, Y., COTÉ, R. P. (2002): "Scavengers and decomposers in an eco-industrial park", en *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, núm. 9.

— *et al.* (2006): "Empirical Analysis of Eco-Industrial Development in China", *Sustainable Development* [www.interscience.wiley.com].

— *et al.* (2009): "Assessment of the National Eco-Industrial Park Standard for Promoting Industrial Symbiosis in China", *Journal of Industrial Ecology* vol. 13, issue 1.

GERTSAKIS, J. *et al.* (2002): "Industrial ecology and extended producer responsability", en Ayres, R. y Ayres, L. (ed.), *A Handbook of Industrial Ecology*, Londres, Edward Elgar.

GIAMPIETRO, M. (2008): "The future of agriculture: GMOs and the agonizing paradigm of industrial agriculture", en *Science for Policy: Challenges and Opportunities*, Guimaraes Pereira, A. y Funtowicz, S. (eds.), Nueva Dehli, Oxford University Press.

GEISER, K. (2003): "Química verde: diseño de materiales y procesos sostenibles", en Blount, E. *et al.*, *Industria como naturaleza. Hacia la producción limpia*, Madrid, Los Libros de la Catarata.

GIFNFC (GOVERMENT-INDUSTRY FORUM ON NON-FOOD USES OF CROPS) (2002): *Annual report of the Goverment-Industry Forum on Non-Food Uses of Crops*, Londres, DEFRA (Departament for Environment, Food & Rural Affairs).

— (2003): *Annual report* of *the Goverment-Industry Forum on Non-Food Uses of Crops*, Londres, DEFRA.

GILJUN, S. (2010): *European resource consumption and resource efficiency in global context* [www.seri.at].

GOBIERNO FEDERAL (2008): *Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2008-2017*, Gobierno Federal de México.

GOBIERNO JAPONÉS (2002): *Basic Plan for Establishing a Recycling in Japan* [www.uneptie.org].

GOLDSMITH, E. (1996): *The Way: An Ecological World View (Revised and enlarged edition)*, Devon, Inglaterra, Themis Books.

GORLACH, B. *et al.* (1999): "From for Helsinki. Environmental requirements in the process of integrating environmental issues into other policy areas of the European Union", *European Policy Paper*, núm. 4.

GOSSELIN, P. G. (2008): "Relentless rise in oil prices tests economy's resilience", *Los Angeles Times*, 20/05/08.

GREEN TAX COMMISSION (2009): *Lessons from Two Green Tax Shifts in the United Kindom* [www.greenfiscalcommission.org.uk].

GOTTS, N. M. (2007): "Resilience, Panarchy, and World-Systems Analysis", *Ecology and Society*, vol. 12, núm. 1.

GOWDY, J. M. (1999): "Hierarchies in Human Affairs: Microfoundations of Environmental Sustainability", en J. Kohn *et al.*, Sustainability in Question, Londres, Edward Elgar.

— (2006): "Evolutionary Theory and Economic Policy with Reference to Sustainability", *Journal of Bioeconomics*, 8.

— (2007): "Avoiding self-organized extinction: Toward a co-evolutionary economics of sustainability", *Sustainable Development & World Ecology*, 1.

GRAFF, J. DE (2010): "Reducing Work Time as a Path to Sustainability", *La situación del mundo 2009*, WWI, Barcelona, Icaria.

GRAY, C., CHARTER, M. (2007): *Remanufacturing and Product Design*, The Centre for Sustainable Design (South East England Development Agency).

GREEN FISCAL COMMISSION (2010): *Competitiveness and Environmental Reform*, Briefing Paper Seven March.

GREER, J. M. (2009): *The Ecotechnic Future*, New Society Publishers.

GUNDERSON, L. (1999): "Resilience, flexibility and adaptive management-antidotes for spurious certitude?", *Conservation Ecology* 3 (1), 7.

GUNDERSON, L., HOLLING, C. S. (eds.) (2002): *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural systems*, Washington, DC, Island Press.

GWEC (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL) (2010): *Global Wind 2009 Report*, GWEC.

GWEC y GREENPEACE (2010): *Global Wind Energy. Outlook 2010*, GWEC y Greenpeace.

HAGENS, N. (2010): "Fractal Adaptive Cycles in Natural and Human Systems" [www.theoli-drum.com/node/6099].

HALADA, K. (2007): *Ecomaterials go into the Next Stage*, 8th International Conference of Eco-Materials-ICEMS.

HALL, J., KERR, R. (2003): "Innovation dynamics and environmental technologies: the emergence of fuel cell technology", en *Journal of Cleaner Production*, 11.

HALL, C. A., KLITGAARD, K. A. (2006): "The need for a new, biophysical-based paradigm in economics for the second half of the age of oil", *International Journal of Transdisciplinary Research*, vol. 1, núm. 1.

HALWEIL, B., NIERENBERG, D. (2009): "Carne y pescado: los ingredientes más caros de la alimentación mundial", *La situación del mundo 2009*, WWI, Barcelona, Icaria.

HAMILTON, J. (2009): "Causes and Consequences of the Oil Shock of 2007-2008", Brooking Papers on Economic Activity.

HANSEN, L., LOVINS, A. L. (2010): "Keeping the Lights On While Transforming Electric Utilities", Rocky Mountain Institute.

HART, P. (2010): "Oil demand to decline in the west, according to International Energy Agency" [www.energybulletin.net/print/54991].

HATCH, C., PRICE, M. (2008): *Canada's Toxic Sands*, Report by Environmental Defense Canada.

HAWKEN, P. *et al.* (1999): *Natural Capitalism*, Londres, Little, Brown and Company.

HEINBERG, R., FRIDLEY, D. (2010): "The end of cheap coal", *Nature*, vol. 468.

HEMMINGSEN, E. (2010): "At the base of Hubbert's Peak: Grounding the debate on petroleum scarcity", *Geoforum*, vol. 41, issue 4.

HFTP (HYDROGEN FUEL CELL TECHNOLOGY PLATFORM) (2005): *Deployment Strategy*, HFTP.

HINTON, S. (2006): *Why the Swedish oil commission fails to deliver route to oil independence* [www.energybulletin.net].

HIRSCH, F. (1984): *Los límites sociales al crecimiento*, México, FCE.

HIRSCH, R. L. *et al.* (2005): *Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation, & Risk Management*, Washington, Department of Energy.

— (2010): *The Impending World energy Mess*, Amazon.

HJORTH, P., BAGHERI, A. (2005-6): "Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach", *Futures*, 38.

HO, M. W. (2005): "Making the World Sustainable", *Energy Bulletin*, 11/07/05.

HODGSON, G. (1993): "Rationality and the Influence of Institutions", en Ekins, P. y M. Max.

HOLLING, C. S. (2009): "Collapse and Renewal", Resilience Alliance.

— (2010): "The Resilience of Terrestrial Ecosystems. Local Surprise and Global Change", en Gunderson L. H. *et al.*, *Foundations of Ecological Resilience*, Washington, Island Press.

HOLLING, C. S., L. GUNDERSON (2002): "Resilience and Adaptive cycles", en Gunderson, L. H. y Holling, C. S., *Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, Londres, Island Press.

HONTELEZ, J. (2009): *The Double Benefit of EFR: Good practices and interesting ideas in some EU countries*, Seminar: Environmental Fiscal Reform and its Contribution to a Green Economy, Madrid.

HOFFMANN, H. (1997): "Comercio y medio ambiente: ¿luz roja o luz verde?", *Revista del CEPAL*, agosto.

HOLLING, C. S. (ed.) (1978): *Adaptive Environmental Assessment and Management*, Nueva York, John Wiley & Sons.

HOLLING, C. S., GUNDERSON, L. H. (2002): "Resilience and Adaptive Cycles", en Gunderson, L. H. y Holling, C. S. (eds.), *Panarchy*, Washington, Island Press.

— *et al.* (2002): "Discoveries for Sustainable Futures", en Gunderson, L. H. y Holling, C. S., *Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, Londres, Island Press.

HÖÖK, M. *et al.* (2010): "Validity of the fossil fuel production outlooks in the IPCC Emission Scenarios", *Natural Resources Research*.

HOPKINS, R. (2008): *The Transition Handbook. From oil dependency to local resilience*, Londres, Green Books.

HOPSON, J. (2010): "EU Commission discriminates hemp fibres" [www.hanf-info.ch].

HUGHES, S. (2007): "US Energy Secy: Oil Supply Unable to Keep Up with Demand", *Dow Jones Newswires*, 12/10/07.

HUKKINEN, J. (2003): "From groundless universalism to grounded generalism: improving ecological economic indicators of human-environmental interaction", *Ecological Economics* 44.

HUMMELS, D. (2009): *Globalization and Freight Transport Costs in Maritime Shipping and Aviation*, OECD and International Transport Forum.

HYWAYS (THE EUROPEAN HYDROGEN ROADMAP) (2007a): *Action Plan* [www.HyWays.de].

— (2007b): *Roadmap* [www.HyWays.de].

HWANG, A. (2002): "Semiconductors Have Hidden Costs", en *VitalSigns 2002/2003*, Londres, WWI/Earthscan.

ICLEI (CONFERENCIA EUROPEA DE CIUDADES SOSTENIBLES): *Cara de Aalborg*, ICLEI.

ICSU (INTERNATIONAL COUNCIL FOR SCIENCE) (2005): *Science and Society: Rights and Responsabilities*, ICSU.

IEA SOLAR PACES *et al.* (2009): *Concentrating Solar Power. Global Outlook 09*, IEA.

IEEP (INSTITUTE EUROPEAN ENVIRONMENTAL POLICY) (2010): *Anticipated indirect Land Use Change Associated with Expanded Use of Biofuels and Bioliquids in the EU. An Analysis of the National Renewable Energy Action Plans*, IEEP.

IENICA (INTERACTIVE EUROPEAN NETWORK FOR INDUSTRIAL CROPS AND THEIR APPLICATIONS) (2006): *Summary Report for the European Union 2000-2005*, IENICA.

IETC (INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY CENTER) (2003): *Environmentally Sound Technologies for Sustainable Development*, París, PNUMA.

ILLUM, K. (2004): *IEA Oil Projections Disputed*, Dinamarca, ECO Consultant.

IP (IMPLEMENTATION PANEL): (2007): *Implementation Plan*, European Hydrogen & Fuel Cell Technology Platform.

IPCC (2007): *Climate Change 2007. Mitigation of Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press.

IPTOES (Industry Taskforce on Eak Oil & Energy Security) (2008): *Oil Crunch, Securing the UK's energy future*, IPTOES.

— (2010*a*) *Oil Crunch (Second report)*, IPTOES.

— (2010*b*) *Peak Oil. Implications of the Gulf of Mexico oil spill*, IPTOES.

Jackson, T. (2005): "Live Better by Consuming Less?", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 9, issue 1-2.

— (2009): "El reto de un mundo sostenible", *La situación del mundo 2009*, WWI.

Janicke, M. *et al.* (2001): *Governance for sustainable development in Germany: institutions and policy making*, París, OECD.

Jones, J. (2010): "MENA Taps its Green Reserves", Renewable Energy World.

Jones, M (2005): "The Battles of Titans", en A. Mckillop y S. Newman (ed.), *The Final Energy Crisis*, Pluto Press.

Joung, O. R. *et al.* (2006): *The globalization of socio-ecological systems: An agenda for scientific research*, Global Environmental Change 16.

Jorgensen, C. (2003): *Environmental Fiscal Reform: Perspectives for Progress in the European Union*, Bruselas, European Environmental Bureau.

Kaizuka, I., Ikki, O. (2010): "Japanese PV Power: New Support Framework Boots The PV Market", Renewable Energy World.

Kasser, T. (2002): *The High Price of Materialism*, Cambridge (EE UU), A Bradford Book.

Kavalov, B., Peteves, S. D. (2007): *The Future of Coal*, Joint Research Centre, Comisión Europea.

Kay, J. J., Regier, H. (2000): "Uncertainty, complexity, and ecological integrity: insights from an ecosystem approach", en P. Crabbé, A. Holland, L. Ryszkowski y L. Westra (eds.), *Implementing Ecological Integrity: Restoring Regional and Global Environmental and Human Health*, NATO Science Series, Environmental Security, Kluwer, Dordrecht.

Kearney, A. T., ESTELA (European Solar Thermal Electricity Association) (2010): *Solar Thermal Electricity 2025*, A. T. Kearny y ESTELA.

Kerr, W., Ryan, C. (2001): "Eco-efficiency gains from remanufactoring. A case study of photocopier remanufacturing at Fuji Xerox Australia", *Journal of Cleaner Production*, 9.

Keynes, J. M. (1933): "National Self-sufficiency", *Yale review*, 22, núm. 4.

— (1964): *General Theory of Employment, Interest and Money*, MacMillan, Londres.

Kharecha, P. A., Hansen, J. E. (2006): *Implications of "peak oil" for atmospheric CO_2 and climate*, NASA Goddard Institute for Space Studies and Columbia University Earth Institute.

Kilian, L. (2010): "Comment on 'Causes and Consequences of the Oil Shock of 2007-08' by James D. Hamilton", Brooking Panel on Economic Activity.

Kincaid, J. (2003): "Region-wide eco-industrial networking in North Carolina", Cohen-Rosenthal, E. (ed.), *Eco-industrial Strategies*, Sheffield, Greenleaf.

Klare, M. T. (2007): "The Pentagon v. peak oil", *Energy Bulletin*, 14/06/07.

— (2008): "How Scarce Energy Resources Can Quickly Lead to Deadly Wars" [www.alternet.org].

Kobayashi, Y. (2010): *Natural Gas Situation and LNG Supply/Demand Trends in Asia-Pacific and Atlantic Markets*, Institute of Energy Economics, Japón.

Konyrova, K. (2008): "Kashagan field oil production delayed", New Europe, May.

Koppelaar, R. (2008): "Oilwatch Monthly. March 2008", ASPO Netherlands.

— (2009*a*): "Oilwatch Monthly February" [www.theoildrum.com].

— (2009*b*): "Costs and environmental impacts of electric cars" [http://theoildrum.com/node/5104].

— (2010*a*): "Oilwatch Monthly. April 2010", ASPO Netherlands.

— (2010*b*): "Oilwatch Monthly. June 2010", ASPO Netherlands.

Korhonen, J. (2001): "Some Suggestions for Regional Industrial Ecosystems. Extended Industrial Ecology", *Eco-Management and Auditing*, 8.

Korowicz, D. (2010): "Tipping Point. Near-Term Systemic Implications of the Peak in Global Oil Production. An Outline Review", Dublín, Faesta.

Kortman, J. *et al.* (2006): *Chemical Product Services in the European Union*, IPTS, Comisión Europea.

Krauss, C. (2008): "Gas Prices Send Surge of Riders to Mass Transit" [www.nytimes.com].

Kuhndt, M., Liedtke, C. (200): "Setting a Factor X into Practice", Wuppertal Institute.

Lacey, S. (2010): "EPA Lowers Cellulosic Ethanol Targets: A Sign of the Times", Renewable Energy World.

Lambin, E. F. (2005): "Conditions for sustainability of human-environmental systems: information, motivation, and capacity", *Global Environmental Change*, vol. 15, issue 3.

Laszlo, E. (2004): *La ciencia y el campo afásico. Una teoría integral del todo*, Madrid, Nowtilus.

Latouche, S. (2008): *La apuesta por el decrecimiento*, Barcelona, Icaria.

Lawrence, F. (2005): "Food study reveals hidden costs of transport" [www.gardian.co.uk], 15/07/05.

LBST (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik) (2010*a*): *Assessment of Potential and Promotion of New Generation of Tenewable Technologies*.

— (2010*b*): *Decentralised Energy Systems*, Parlamento Europeo.

Learch, D. (2007): *Post Carbon Cities: Planning for Energy and Global Warming for Local Governments*, Sebastopol (California), Post Carbon Institute.

Lesley, V., Bullock, H. (2008): *The futureproofers* [www.forumforthefuture.org].

Levesque, C. (2007): "What is the Percentage of Federal Subsidies Allotted for Wind Power" [www.worldrenewableenergy.com].

Levin, S. A. (2000): *Fragile dominion: complexity and the commons*, Cambridge, MM, Perseus.

Levine, S. (2009): "China Changes Calculus for Petro-Rulers", *A blog on Russia*, Central Asia and the Caucasus.

Lewis, N. S. *et al.* (2005): *Basic Research Needs for Solar Energy Utilization*, Washington, U. S. Department of Energy.

Liedtke, C. (2003): "Toward sustainable products and services", en J.-D. Seiler-Hausmann *et al.* (ed.): *Eco-efficiency and Beyond*, Sheffield (UK), Green-leaf.

Lietaert, M. (2007): "The Growth of cohousing in Europe" [www.cohousing.org].

Likvern, R. (2010): "Global oil supplies as reported by EIA's International Petroleum Monthly for September 2010 [www.Energybulletin.net/print/54211].

Linch, J. P. (92010: "PV. A Question of Scale", Renewable Energy World.

Linde *et al.* (2009): "Initiative 'H2 Mobility'" [www.pr-inside.com].

Lindhal, M. *et al.* (2009): *Product-Service Systems Experiences – an International Survey of Swedish, Japanese, Italian and German Manufacturing Companies*, CIRP IPS2 Conference.

Linn, S. (2010): "Commercialism in Children`s Lives", *La situación del mundo 2010*, WWI, Barcelona, Icaria.

Liu, C. (2010): "Financial Crisis Paves the Way for Chinese Solar Giants", Renewable Energy World.

Lorek, S., Lucas, R. (2003): *Towards Sustainable Market Strategies. A Case Study on Eco-textiles and Green Power*, Wuppertal Institute.

Lovelace, R. (2009): "Transport and adaptive capacity: An integrated approach to UK policy evaluation" [http://europe.theoildrum.com/node/5365].

Lowe, E. (2003): "Eco-industrial development in Asia developing countries", en Cohen-Rosenthal, E. (ed.), *Eco-industrial Strategies*, Sheffield, Greenleaf.

Macalister, T. (2009): "Key oil figures were distorted by US pressure, says whistleblower" [www.guardian.co.uk].

McDonough, W., Braungart, M. (2002): *Cradle to Cradle. Remaking the Way We Make Things*, Nueva York, North Point Press.

Mackey, B. G. *et al.* (2008): *Green Carbon. The Role of Natural Forests in Carbon Storage*, Australian National University, Press.

Mactiernan, H. A. (2004): Sustainable Transport Coalition's, Oil: Living with Less (Conference), Minister for Planning and Infrastructure, Western Australia.

Maier-Rigaud, G. (1991): *Ecological Economics and Global Change*, Bonn, Institute fur Europerische Umweltpolitik.

Makower, J. (2001): *The Clean Revolution: Technologies from the Leading Edge*, Oakland, California, Clean Edge.

Permick, R. (2002): *Clean Energy Markets*, Clean Edge.

Marglin, E. (1977): *Crítica de la división del trabajo*, Barcelona, Laia.

Margulis, L. (1998): *The symbiotic Planet*, Londres, Science Masters.

Maribyrnong City Council (2008): *Maribyrnong, Australia`s Peak Oil Policy and Action Plan*, Maribyrnong City Council.

Maro, P. (2007): "EEB's response to the European Commission's Green Paper on market instruments for environment and energy related policy purposes", Bruselas, EEB.

Martinez Alier, J. (2004): *El ecologismo de los pobres. Conflictos ambientales y lenguajes de valoración*, Icaria.

— (2004): "Decrecimiento sostenible-Sustainable De-growth", en *Proceedings of the First International Conference on Economic De-Growth for Ecological Sustainability and Social Equity*, París, abril 18-19.

Martínez Alier, J. *et al.* (2010): "Sustainable de-growth: Mapping the context, criticisms and future prospects of an emergent paradigm", *Ecological Economics*, 69 (9).

Martinot, E., Junfeng, L. (2010): *Renewable Energy Policy Update for China* [www.renewableenergy-world.com] (21/07/2010).

Mastny, L. (2003): "La situación del mundo: un año de revisión", en Bright, C. *et al.*, *La situación del mundo 2003*, Barcelona, Icaria.

Matthews, E. *et al.* (2000): *The weight of nations. Material outflows from industrial economies*, World Resource Institute.

Matutinovic, I. (2001): "The aspects and the role of diversity in socioeconomic systems: an evolutionary perspective", *Ecological Economics*, 39 (2): 239-256.

— (2002): "Organizational patterns of economies: an ecological perspective", *Ecological Economics*, 40 (3): 421-440.
— (2006): "Mass migrations, income inequality and ecosystems health in the second wave of a globalization", *Ecological Economics*.
MAX-NEEF, M. (2005): "Foundations of transdisciplinarity", *Ecological Economics*, 53 (1).
MAX-NEEF, M., EKINS, P. (1992): *Real-Life Economics. Understanding Wealth Creation*, Londres, Routledge.
MAYUMI, K. (2009): The Biofuel Delusion: the Fallacy behind Large-scale Agro-biofuel Production, Londres, Earthscan Research Edition.
MCCONNELL, J., HARZOK, A. (1997): "Pennsylvania's Success with Local Tax Reform", en T. Schroyer, *Building Blocks for a Just and Sustainable Society*, Nueva York, The Bootstrap Press.
MCDONOUGH, W., BRAUNGART, M. (2002): *Cradle to Cradle. Remaking the Way We Make Things*, Nueva York, North Point Press.
MCKINSEY & COMPANY (2010): *A portfolio of power-trains for Europe: a fact-based analysis*, Consorcio de Empresas.
MCNAMARA, A. (2007): "Queensland's vulnerability to rising oil prices" [www.epa.gld.gov.au].
— (2008): "Highway of diamonds", Conferencia en el Brisbane Institute, 04/03/08.
MEAB (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT) (2006*a*): "Natural Assets and Human Well-being (Statement from the Board)", *Millennium Ecosystem Assessment*, Nueva York, Naciones Unidas.
— (2006*b*): "MA Conceptual Framework", *Millennium Ecosystem Assessment*, Nueva York, Naciones Unidas.
— (2006*c*): "Human Well-being across Scenarios", *Millennium Ecosystem Assessment*, Nueva York, Naciones Unidas.
MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L., RANDERS, J. y BEHRENS III W. W. (1972): *The Limits of Growth*, Nueva York, Universe Books.
MEARNS, E. (2009*a*): *Oil price: Where next? And Thoughts for 2010* [www.energybulletin.net/print/51028].
— (2009*b*): Is Europe running low on natural gas? [http://europe.theoildrum.com/node/4933].
— (2010): "The Chinese Coal Monster-running out of puff" [http://europe.theoildrum.com/node/7123].
MED-EMIP (EURO-MEDITERRANEAN ENERGY MARKET INTEGRATION PROJECT) (2010): *Medring Update Study*, MED-EMIP.
MEEKER-LOWRY, S. (1995): *Invested in Common Good*, Philadelphia, New Society Publishers.
MESAROVIC, M. D., PESTEL, E. (1974): *Mankind at the turning point: the second report to the Club of Rome*, E. P., Nueva York, Dutton and Company.
MICHELIS, L., LOREK, S. (2004): *Consumption and the Environment in Europe*, Copenhague, Danish Environmental Protection Agency.
MILL, J. S. (1996): *Principios de Economía Política*, Madrid, FCE.
MILMO, D., ADETUNJI, J. (2008): "Britain goes slow as trains, planes and ships cut fuel costs" [www.guardian.co.uk].
MINISTERIO DE FOMENTO (2005): *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte*, Madrid, Ministerio de Fomento.
MINISTERIO DE INDUSTRIA (2008): *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2011*, Ministerio de Industria.
MINT, P. (2010): "Five PV History Lessons; EPIA Takeaways", Renewable Energy World.
MODVAR, C., GALLOPIN, G. C. (2005): *Sustainable development: epistemological challenges to science and technology*, CEPAL, ONU.
MOLL, S. *et al.* (2003): *Resource Use in European Countries*, Copenhague, Agencia Europea de Medio Ambiente.
MONT, O. (2002): "Clarifying the concept of product-service system", en *Journal of Cleaner Production* 10 (2002).
LINDHQVIST, M. R. (2003): "The role of public policy in advancement of product service systems", en *Journal of Cleaner Production*, 11.
MORIKAWA, M. (2001): *Eco-Industrial Developments in Japan*, Emerville (Canadá), Indigo Development Center.
MUELLER, T. (2008): "Biomimetics: Design by Nature", *National Geographic*, abril.
MULDER, K. *et al.* (2006): "The contribution of built, human, social and natural capital to quality of life in International and unintentional communities", *Ecological Economics*, 59.
MUMFORD, L. (1971): *Ciencia, técnica y civilización*, Madrid, Alianza Editorial.
MURPHY, D. (2009): "Further Evidence of the Influence of Energy on the U. S. Economy" [http://netenergy.theoildrum.com/node/5304].
NAREDO, J. M. (1987): *La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*, Madrid, Siglo XXI.
— (2006): *Raíces económicas del deterioro ecológico y social*, Madrid, Siglo XXI.
NELDER, C. (2008): "Notes on ASPO-USA Peak Oil Conference", ASPO-USA.
NEURATH, O. (1973): *Empiricism and Sociology*, Reidel, Dordrecht.
NEW ZEALAND LABOUR PARTY (2005): *Energy Policy. Labour's Vision* [www.scoop.co.nz].

NDEFO *et al.* (2007): "Russia: A Critical Evaluation of its Natural Gas Resources", *Energy Tribune*, 15/02/07.

NIC (NATIONAL ENERGY COUNCIL) (2008): *Global Trends 2025: A Transformed World*, NIC 2008-003.

NPC (NATIONAL PETROLEUM COUNCIL) (2007): *National Petroleum Council scenario for net regional oil imports and exports in 2005 y 2030*, NPC.

NIELSEN, S. N. (2007): "What has modern ecosystem theory to offer to cleaner production, industrial ecology and society? The views of an ecologist", *Journal of Cleaner Production* (*on line*).

NIJDAM, D. S. *et al.* (2005): "Environmental Load from Dutch Private Consumption", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 9, núm. 1-2.

NORGAARD, J. (1998): "Tecnología eficiente en una economía ineficiente", en Riechmann, J. (ed.), *Necesitar, desear, vivir. Sobre necesidades, desarrollo humano, crecimiento económico y sustentabilidad*, Madrid, Los Libros de la Catarata.

NYGREN, E. (2009): *Aviation Fuels and Peak Oil*, Uppsala University (tesis).

OAKLAND CITY COUNCIL (2008): *Oil Independent Oakland Action Plan*, City of Oakland.

OATES, W. E., PORTNEY, P. R. (1996): "Economic Incentives and the Containment of Global Warming", en W. E. Oates, *The Economic of Environmental Regulation*, Cheltenham (R. U.), Edward Elgar.

O'CONNOR, M. *et al.* (1996): "Emergent complexity and procedural rationality: post-normal science for sustainability", en Costanza, R., Segura, O., Martínez-Alier, J. (eds.), *Getting Down to Earth. Practical Applications of Ecological Economics*, Island Press, Washington, DC, Covelo, CA.

OCDE (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT) (1985): *Environment and Economics*, *París*, *OCDE*.

— (1993): *Fiscalidad y medio ambiente*, *París*, *OCDE*.

— (1994): *The Environmental Effects of Trade*, París, OCDE.

— (1997*a*): *Economic Globalizatin and the Environment*, París, OCDE.

— (1997*d*): *Environmental Taxes and Green Tax Reform*, París, OCDE.

— (1997*e*): *Evalueting Economic Instruments for Environmental Policy*, París, OCDE.

— (1998): *Eco-efficiency*, París, OCDE.

— (2002*a*): *OECD Environmental Strategy for the First Decade of the 21st Century*, París, OCDE.

— (2002*b*): *OECD Workshop on Environmentally Harmful Subsidies*, París, OCDE.

— (2005): *Environmental Fiscal Reform for Poverty Reduction*, París, OCDE.

— (2006): *Good Practices in the National sustainable Development Strategies of OECD Countries*, París, OCDE.

— (2008*a*): *OECD Science, Technology and Industry Outlook 2008*, París, OCDE.

— (2008*b*): *Environmental Innovation and Global Markets*, París, OCDE.

— (2008*c*): *Promoting Sustainable Consumption*, París, OCDE.

— (2008*d*): *OECD Guidelines for Multinational Enterprises*, París, OCDE.

— (2009*a*): *Key Transport Statistics 2008*, París, OCDE.

— (2009*b*): *The Bioeconomy to 2030.Designing a Policy Agenda*, París, OCDE.

— (2009*c*): "Sustainable Manufacturing and Eco-Innovation: Towards a Green Economy", *Policy Brief*, *June*, París, OCDE.

— (2009*d*): *Statistics on International Trade in Services. Volume I*, París, OCDE.

ODUM, E. P. (1992*): Ecología: Bases Científicas para un nuevo paradigma*, Barcelona, Vedrá.

ODUM, E. P., SARMIENTO, F. O. (1998): *Ecología: el puente entre ciencia y sostenibilidad*, México DF, McGraw-Hill Interamericana.

ÖKO-INSTITUT (2009): *Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential*, Öko-Institut.

OLSSON, P. *et al.* (2006): "Shooting the Rapids: Navigating Transitions to Adaptive Governance of Social-Ecological Systems", *Ecology and Society* vol. 1, núm. 1.

OMANN, I. (2007): *A Multicriteria tool for Evaluating of Impact of Product service an Sustainable Development: An application in Austrian companies*, Sustainable Europe Research Institute (SERI).

OMANN, I. *et al.* (2007): *The environmental effects of food consumption for different household categories*, Sustainable Europe Research Institute (SERI).

OSTER, S., DAVIS, A. (2008): "China Spurs Coal-Price Surge" [htpp://online.wsj.com].

QUEENLAND'S OIL VULNERABILITY TASKFORCE (2007): *Queensland`s Vulnerability to Rising Oil Prices. Taskforce Report*, A. McNamara MP, Chair Oil Vulnerability Taskforce.

PALEOCRASSAS, Y. (2002): *A Radical Fiscal Reform* [www.eeb.org].

PARIS, A. J. (2009*a*): "I am a banker. Some of us did not f*ck up" [http://energybulletin.net/print/48463].

— (2009*b*): "The cost of wind, the price of wind, the value of wind" [http://europe.theoildrum.com/node/5354].

PARLAMENTO EUROPEO (1996): *Informe sobre la Organización Mundial de Comercio*, Estrasburgo,

Comisión de Relaciones Económicas Exteriores del Parlamento Europeo.
— (2010): *Decentralised Energy Systems*, Parlamento Europeo.
PARLAMENTO EUROPEO y CONSEJO (2002*b*): *Decisión relativa al sexto programa marco de la Comunidad Europea para acciones de investigación, desarrollo tecnológico y demostración, destinado a contribuir a la creación del Espacio Europeo de Investigación e Innovación (2002-2006)*, núm. 1513/2002/CE.
— (2003): *Directiva por la que se instaura un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía*, COM(2003)453 final.
— (2008): *Propuesta de Reglamento sobre la red ferroviaria europea para un transporte de mercancías competitivo*, COM(2008)852 final.
— (2008): *Directiva sobre residuos*, Directiva 2008/98/CE.
PATZEK, T. W. (2006): "The Real Biofuels Cycles", *Online Supporting for Science Letter V. 312*, 26/06/06.
PATZEK, T. W. *et al.* (2005): "Ethanol from corn: Clean renewable fuel for the future, or drain on our resources and pockets?", *Environment, Development and Sustainability (2005) 7*.
PATZEK, T. W., CROFT, G. D., "A global coal production forecast with multi-Hubbert cycle analysis", *Energy* 35.
PAULI, G. (1998): *Upsizing*, Sheffield, Gran Bretaña, Greenleaf Publishing.
PEARCE, D., MARKANDYA, A. (1989): "Marginal Opportunity Cost as a Planning Concept", en *Natural Resource Manage*ment, *Economic Management and Economic Management*, Washington, World Bank.
PEARCE, D. TURNER, R. K. (1990): *Economics of Natural Resources and the Environment*, Londres, Harvester Wheatsleaf.
PENTÁGONO (2008): *The Joint Operating Environment 2008*, United States Joint Forces Command.
— (2010): *The Joint Operating Environment 2010*, United States Joint Forces Command.
PERNICK, R. *et al.* (2009): *Clean Tech Job Trends 2009*, Clean Edge.
PETROV, K. (2006): "The Proposed Iranian Oil Bource", *Energy Bulletin*, 18/01/06.
PHILLIPS, L. (2009): "Europe's Overseas Push into Biofuels", BusinessWeek, mayo 13.
PIMENTEL, D., PIMENTEL, M. (2006): "Global environmental resources versus world population", *Ecological Economics*, 59.
PIMENTEL, D., PATZEK, T. W. (2005): "Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower", *Natural Resources Research*, vol. 14, núm. 1.
PLASTICS (2009): *The Compelling Facts About Plastics 2009*, Plastics.
PLASTICS EUROPE *et al.* (2009): *Los Plásticos en 2007*, Plásticos.
PLATT, A. (2000): *Why Poison Ourselves? A Precautionary Approach to Synthetic Chemicals*, Worldwatch Paper 153, noviembre.
— (2002): "Reduciendo nuestra carga tóxica", en Fravin, C. *et al.*, *La situación del mundo*, Barcelona, Apóstrofe.
PNUD (PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO) *et al.* (2001): *Informe Mundial sobre Energía*, Madrid, IDAE.
— (2002*a*): *Industry as a partner for sustainable development. 10 years after Rio: the UNEP assessment*, París, PNUMA.
— (2002*b*): *Sustainable Consumption and Cleaner Production*, París, PNUMA.
— (2003): *Environmentally Sound Technologies for Sustainable Development (revised draft)*, París, PNUMA.
PNUD y AIE (2002): *Reforming Energy Subsidies*, Nueva York, United Nations Publication.
PNUD, IIDS (INSTITUTO INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE) (2002): *Manual de Medio Ambiente*, París, PNUMA.
— (2008): *Planning for Change. Guidelines for National Programmes and Sustainable Consumption and Production*, París, PNUMA.
PNUMA (2009): *Recycling. From E-Waste To Resources*, París, PNUMA.
— (2010*a*): *Metal Stocks in Society. Scientific Synthesis*, París, PNUMA.
— (2010*b*): *Recycling Rates of Metals*, París, PNUMA.
POLANYI, K. (1989): *La gran transformación. Crítica del liberalismo económico*, Madrid, La Piqueta.
PORTLAND CITY COUNCIL (2007): *Report of the City of Portland*, Portland City Council.
PRESIDENT'S COUNCIL OF ADVISERS (2006): *The Energy Imperative Technology and the Role of Emerging Companies*, President's Council of Advisers.
PROCTOR, A. *et al.* (2002): *Eco-Industrial Park Survey: Feedback Report for Respondents*, Department of Geography, University of Hull, UK.
PUBLIC CITIZEN REPORT (2003): *The U.S. Threats Against Europe's GMO Policy and The WTO SPS Agreements*, Public Citizen.
RAMMEL, C., STAUDINGER, M. (2002): "Evolution, variability y sustainable development", en *International Journal of Sustainable Development. World Ecology*, núm. 9.
— (2004): "The bridge between diversity and adaptivity: Answering McIntosh and Jeffrey", en *International Journal of Sustainable Development. World Ecology*, núm. 1.

RAMMEL, C., VAN DER BERGH, J. (2003): "Evolutionary policies for sustainable development: adaptive flexibility and risk minimising", *Ecological Economics*, 47 (2-3).

RAMMEL, C., STALGL, S., WILFING, H. (2007): "Managing complex adaptive systems: a coevolutionary perspective on natural resource management", *Ecological Economics*, 62 (1).

RAMONET, I. (1997): "Pensamiento único y nuevos amos del mundo", en *Cómo nos venden la moto*, Barcelona, Icaria.

RAMOS, D. (2010): "Análisis del proceso de liberalización del mercado comunitario de transporte aéreo", en Hoyos, D. y Sanz, A. (coords.), *Nueva Política de Transporte para el Siglo XXI*, *Ekonomiaz*, 73.

RAPIER, R. (2009): "Book Review: Oil 101" [www.energybulletin.com/node/53402].

— (2010): "Next Generation Biofuels: Five Challenges and Five Positive Notes" [www.theoildrum.com/node/6677].

RAVAIOLI, C., EKINS, P. (1995): *Economists and the Environment. What the Top Economists Say about the Environment*, Londres, Zed Books.

RCEP (ROYAL COMMISSION ON ENVIRONMENTAL POLLUTION) (2003): *Chemicals in Products. Safeguarding the Environment and Human Health*, Londres, Cámara de los Comunes.

REGULY, E. (2007): "UE sleepwalking into gas crisis. ENI says", *The Global and Mai*, 14/11/07.

REJESKI, D. (2008): "The Industrial Ecology of Emerging Technologies", *Journal of Industrial Ecology*, vol. 12, núm. 3.

REN, X. (2003): "Biodegradable plastics: a solution or a challange", en *Journal of Cleaner Production*, 11.

REN21 (2010): *Renewables 2010. Global Status Report*, REN21, PNUMA.

RENTON, A. (2008): "Is this the end of cheap food?", *The Observer*, 20/01/08.

RIELE, H. *et al.* (2001): *Dematerialization*, Ámsterdam, Dutch Ministry of Environment.

RIHANI, S. (2002): *Complex Systems Theory and Development Pratice*, Londres, Zed Books.

RING, I. (1997): "Evolutionary strategies in environmental policy", *Ecological Economics*, 23 (3).

RIZHKOV, N. (1986): *Sobre las orientaciones fundamentales del desarrollo económico y social de la URSS en 1986-1990 y hasta el año 2000*, Moscú, Novósti.

RODRÍGUE, J. P. (2008): *International Oil Transportation*, Hofstra University [htpp://people.hofstra.edu].

ROADS2HYCOM (2009): *Fuel Cells and Hydrogen in Sustainable Energy Economy* [www.roads2hy.com].

ROLL, E. (1966): *A history of economic thought*, Londres, Faber.

ROODMAN, D. M. (1998): *The Natural Wealth of Nations. Harnessing the Market for the Environment*, Nueva York, W. W. Norton & Company.

ROPKE, I. (2001): "The dynamics of willingness to consume", *Ecological Economics*, vol. 28, issue 3.

— (2009): "Theories of practice. New inspirations for ecological economic studies on consumption", *Ecological Economics*, núm. 68, issue 10.

ROTHER, L. (2008): "Shipping Costs Start to Crimp Globalization" [www.nytimes.com/2008/08/03].

RUBIN, J. (2009): *Why your world is about to get a whole lot smaller*, Nueva York, Random House.

RUBIN, J., BUCHANAN, P. (2008*a*): "Delays Will Tighten Global Oil Markets", *StrategEcon*, *January*, CIBC World Markets Inc.

— (2008*b*): "What's the Real Cause of the Global Recession?", CIBC World Markets Inc.

RUBIN, J., TAL, B. (2005): "When Will Energy Brake US Consumers?", *Monthly Indicators*, CIBC World Markets Inc.

— (2008): "Will Soaring Transport Costs Reverse Globalization?", *StrategEcon*, May, CIBC World Markets Inc.

RUTLEDGE, D. (2007): "The Coal Question and Climate Change" [www.theoildrum.com], 25/06/07.

SACH, I. (1981): *Initiation a l`ecodeveloppment*, Tolouse, Privat.

SACHS, J., FINKELPEARL, S. (2010): "From Selling Soap to selling Sustainability: Social Marketing", *State of the World 2010*, WorldWatch Institute.

SACHS, W. (1992): "The Economist's Prejudice", en Ekins, P. y M. Max-Neef, *Real-Life Economics*, Londres, Routledge.

SACTRA (2010): *SACTRA Report*, Department for Transport, UK.

SAN FRANCISCO CITY COUNCIL (2006): *Resolution acknowledging the challenge of Peak Oil*, San Francisco City Council, California.

SANNE, S. (2002): "Willing consumers-or lock-in? Policies for sustainable consumption", *Ecological Economics*, vol. 42.

SANTARIUS, T. *et al.* (2004): *Balancing Trade and Environment. An Ecologiacal Reform de la OMC como un Desafío a la Gobernabilidad Mundial Sostenible*, Wuppertal Papers, núm. 133e, febrero 2004.

SCAG (SOUTHERN CALIFORNIA ASSOCIATION OF GOVERNORS) (2008): *Regional Comprehensive Plan*, SCAG.

SCHETTKAT, R. (2009): *Analyzing Rebound Effects*, Schumpeter School of Business and Economics.

SCHLUMBERGER, C. E. (2008): *The result of speculation or an early indicator of a major and growing future challenge to the airline industry?*, The World Bank.

SCHOR, J. (2010): "Sustainable Work Schedules for All", *State of the World 2010*, WorldWatch Institute.

SCHUMACHER, E. F. (1978): *Lo pequeño es hermoso*, Madrid, Hermann Blume.

SCHUTZ, J. (1999): "The value of economic reasoning", *Ecological Economics*, núm. 31.

SCHWARTZ, L. (2010): "China Policy: A Defining Decade for the Would-Be Leader", *Renewable Energy Magazine*.

SCI/VERKHER (2008): *La Vie du Rail International*, septiembre.

— (2009): *Worldwide Rail Transport Markets 2009-2019*, SCI/VERKHER Berlín.

SFORWARD (2008): *San Francisco's Environmental Plan 2008. Building a Bright Future*, City of San Francisco.

SHAHEEN, S. A., COHEN, A. P. (2007): *Woldwide Carsharing Growth: An International Comparison*, PATH University of California.

SHARP, R. (2008): "They don't just shop in Totnes-they have their very own currency", *The Independent*, 01/05/08.

SHIMAMOTO, M. (2008): "Forests sustainability and trade policies", *Ecological Economics*, vol. 66, issue 4.

SIMMONS, M. (2006): "What a difference 20 years make in crude oil prices", *World Oil Magazine* 2, febrero.

SKREBOWSKI, C. (2010): "Opinion A", en ITPOES, *The Oil Crunch*, ITPOES.

SOUSA, L. de (2009): "Andris Piebalgs: it may have peaked" [http://europe.theoildrum.com/node/5397].

SMIL, V. (2002): "Global biogeochemical cycles", Ayres, R. y Ayres, L. (eds.), *A Handbook of Industrial Ecology*, Londres, Edward Elgar.

SMITH, A. (1994): *La riqueza de las naciones*, México, FCE.

SMITH, J. J., NELSON, K. (1998): "Giving Life to the Property Tax Shift (PTS)", *Redefining Progress* [www.progress.org].

SPANGENBERG, J. (2003): *Integrating economic, social and environmental policies: who calls the tune?*, SERI Background Papers, Nr. 3.

— (2004): "Reconciling sustainability and growth: criteria, indicators, policy", *Sustainable Development 2004*, vol. 12, issue 2.

SPANGENBERG, J., LOREK, S. (2002): "Environmentally sustainable household comsumption: from aggregate environmental pressures to priority fields of action", en *Ecological Economics*, 43.

SPANGENBERG, J., O'CONNOR, M. (2010): "Sustainable Science: A New Mode of Science. Another Step in the Evolution of Science Paradigm", *INES Global Responsibility Newsletter*, 61.

SPECK, S. (2009): "Ecological Tax Reforms in Europe", *Ecological Tax Reforms I. A key to sustainability and competitiveness*, Forum Finanz, Viena, 29/10/09.

STEER, T., OTT, T: (2004): "The industrial region as a promising unit for eco-industrial development-reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology", en *Journal of Cleaner Production*, 12.

STIGLITZ, J. E. (2009): "Capitalist Fools", *Vanity Fair Magazine*, enero.

STIMPSON, C., KLEEKAMP, C. (2007): "Offshore Score since 2001: Europe 24, U.S. 0" [www.renewableenergyaccess.com], 12/07/07.

STOUGHTON, M., VOTTA, T. (2003): "Implementing service-based chemical procurement: lessons and results", en *Journal of Cleaner Production Journal of Cleaner Production*, diciembre.

SUMAILA, U. R. *et al.* (2007): "The World Trade Organization and global fisheries sustainability", *Fisheries Research*, 88.

SUNDIN, E. *et al.* (2009): "Using Company-Academia Networks to Improving Product/Service Systems at Large Companies, en Fischer, T. *et al.* (ed.), *Introduction to Product/Service Systems Design*, Verlag.

SWISHER, J. N. (2002): *Cleaner Energy, Greener Profits: Fuel Cells as Cost-Effective Distribuited Energy Resources*, Rocky Mountain Institute.

TAINTER, J. A. (2005): *The Collapse of Complex Societies*, Cambridge University Press.

— (2006): "Social complexity and sustainability", *Ecological Complexity*, 6.

TANNON, J., CAMPBELL, C. (2009): "Renewable Energy: Yes We Can" [www.renewableenergy-world.com].

THE FEDERAL GOVERNMENT (2009): *Founding an International Renewable Energy Agency* (IRENA), The Federal Government of Germany.

THE ARLINGTON INSTITUTE (2003): *A Strategy: Moving America Away from Oil*, The Arlington Institute, Arlington.

THORPE, B. (1999): *Citizen's Guide to Clean Production*, Clean Production Network, University of Massachusetts Lowell, Lowell USA.

THOMPSON, E. P. (1995): *Costumbres en común*, Barcelona, Crítica.

TIETENBERG, T. (1998): "Ethical Influences on the Evaluation of the Us Tradable Permits Approach to Air Pollution Control", *Ecological Economics*, febrero-marzo.

TINBERGEN, J., HUETING, R. (1991): "GNP and Markets Prices: Wrong Signals for Sustainable Economic Success that Mask Environmental Destruction", en R. Goodland *et al.*, *Environmentally Sustainable Economic Development: Building on Brundtland*, París, Unesco.

TOLLE, E. (2006): *Un nuevo mundo*, *Ahora*, Barcelona, *Grijalbo*.

TOSHKOV, V. (2008): "Bulgaria and Russia sign pipeline deal", *International Herald Tribune*, *18/01/08*.

TUKKER, A., TISCHNER, U. (2006): *"Product-servicies as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research"*, *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, is. 17.

TUCKER, A. (2007): "Fostering change to sustainable consumption and production: an evidence based view", *Journal of Cleaner Production*, *16*.

TUV/SUD (2009): "Hydrogen and Fuel Cells" [www.netinform.de/H2].

TVERBERG, G. (2009*a*): "Obama's Energy Policy Announcement" [www.theoildrum.com/node/5021].

— (2009*b*): "Where we are headed: Peak oil and financial crisis" [www.theoildrum/node/5320].

— (2009*c*): *Science 1101. Petroleum and peak oil* [www.theoildrum.com/node/5969].

— (2010*a*): "Relocalization. Thinking about Imports from Less Development World" [www.theoildrum.com/code/6648].

— (2010*b*), "World Oil Production. Looking for Clues as to What may be Ahead" [www.theoildrum.com/node/7258].

UDO DE HAES, H. A. (2002): "Industrial ecology and life cycle assessment", en *Handbook of Industrial Ecology*, Ayres, R. U. y Ayres, L. W. (2007), Edward Elgar.

UCS (UNION OF CONCERN SCIENTISTS) (1992): *World Scientists` Warning to Humanity*, UCS [www.ucsusa.org].

UIC (INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS) (2009): "UIC world rail statistics for 2008", UIC Statistic Department.

UIC-CER (INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS-COMMUNITY OF EUROPEAN RAILWAY) (2008): *Rail Transport and Environment. Facts and Figures*, UIC-CER.

UNU/GEIC/IAS (UNITED NATIONS UNIVERSITY, GLOBAL ENVIRONMENTAL INFORMATION CENTRE, INSTITUTE OF ADVANCED STUDIES) (1998): *Global Climate Governance*, Tokio, UNU/GEIC/IAS.

USJFCOM (UNITED STATES JOINT FORCES COMMAND) (2010) JOE2010: JOE 2010 (Joint Operating Environment), USJFCOM.

UTCHITELLE, L. (2008): "Soaring Fuel Prices Take a Withering Toll on Truckers" [www.nytimes.com].

VAIL, J. (2008*a*): "Geopolitical Disruptions 1: Theory of Disruptions to Oil & Resource Supply" [www.theoildrum.com/node/4373].

— (2008*b*): "Oil Demand Destruction & Brittle Systems" [www.energybulletin.net/node/44111].

VANCOUVER CITY PLANNING COMMISION (2006): *Peak Oil Impact on Cities, Survival & Culture: Dealing with Community Change under stress. Seeking out New Leaders*, Metro, Vancouver Planning Coalition.

VAN DER VELPEN, B. (2009): *A Win-Win-Win Business Model for producers and end-users of chemicals and the environment: "Chemical Leasing"*, Chemical Leasing Research Project.

VAN DER VOET, H. A. (2002): "Substance flow analysis methodology", en *Handbook of Industrial Ecology*, Ayres, R. U. y Ayres, L. W. (2007), Edward Elgar.

VASPEYI, K. (1997): "East of Eden" [www.lifepositive.com].

VERNON, C. (2008): "What would $120 oil mean for the economy?" [http://europe.theoildrum.com].

— (2009): "Transport and adaptive capacity: An integrated approach to UK policy evaluation" [http://europe.theoildrum.com/node/5365].

— (2010): "What difference would Nord Stream mean to European energy Supply" [http://europe.theoildrum.com/node/6157].

VISNJIC, I., VAN LOOY, B. (2009): *Manufacturing Firms Diversifying into Services: A Conceptual and Empirical Assessment*, POMS 20th Annual Conference.

VRIES, E. DE (2009): "Speaking of Wind: Discussions from Germany", *Renewable Energy World*.

WALKER, B. (2005): "A Resilience Approach to Integrated Assessment", *The International Assessment Journal*, 5 (1).

— *et al.* (2006): "A Handful of Heuristics and Some Propositions for Understanding Resilience in Social-Ecological Systems", *Ecology and Society* 11 (1).

— *et al.* (2008): "Resilience Thinking", Resilience Aliance.

WAKEFORD, T. (2003): "Who's in control?", *The Ecologist*, mayo.

WANG, U. (2010): "The Rise of CIGS. Finaly?", Renewable Energy World.

WBCSD (BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT) (2000): *Eco-efficiency*, Ginebra, WBCSD.

— (2001): *Sustainability through the market. Seven keys to success*, Ginebra, WBCSD.

WBGU (ERMAN ADVISORY COUNCIL ON GLOBAL CHANGE) (2003): *World in Transition. Towards Sustainable Energy Systems*, Berlín, WBGU.

WCRE (WORLD COUNCIL FOR THE RENEWABLE ENERGY) (2000): *Acton Plan for the Global Proliferation of Renewable Energy*, WCRE.

WEBSTER, B. (2007): "Holidaymakers forced to take slow boat", *The Times*, 29/05/07.

WEIRD, F. (2007): "Kremlin extends grip on oil", *The Christian Science Monitor* [www.csmonitor.com].

WEIZSÄCKER, E. U. (1994): *Earth Politics*, Londres, Zed Books.

WEIZSÄCKER, E. U., LOVINS, A. B., LOVINS, L. H. (1997), *Factor 4*, Barcelona, Galaxia Gutemberg.

WHEATLEY, M., CRENEAM, G. (2004): "Solving, not Attacking, Complex Systems. A five-State Approach Based on an Ancient Practice" [www.margaretwheatley.com].

WHITE, G. (2009): "Do Saudis have the clout to destroy NYMEX?" [www.telegraph.co.uk/finance/markets].

WHITELEGG, J. (2009): "On the wrong track: Why high-speed trains are not such a green alternative" [www.guardian.co.uk].

WILLER, H., KLICHER, L. (2009): *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2009*, Bonn, IfOM.

WOODYARD, C. (2010): "Will masses ambrace electric cars despite high prices?" [www.usatoday.com].

WTO (WORLD TRADE ORGANIZATION) (2007): "Risks lie ahead following stronger trade in 2006. WTO Reports", WTO, Ginebra, Suiza.

WUPPERTAL INSTITUTE *et al.* (2008): *Eco-innovation: Putting the EU on the path to resource*, Wuppertal Institute *et al.*

WURSTER, R. (2003): *Hidrógeno. Visión General y economía de H2*, Ottobrunn, L-B-Systemtechnick.

WURSTER, R. *et al.* (2009): *Energy Infrastructure 21. Role of Hydrogen in Addressing the Challenges in the new Global Energy System*, EHA (European Hydrogen Association).

YONG, G., COTÉ, R. P. (2001): *EMS as an opportunity for engaging China's economic development zones: The case of Dalian* [www.uneptie.org/pc/indestates].

ZENZ, K., JOHNSON, A. (2010): "The limits of energy storage technology".

ZIESEMER, J. (2007): *Energy Use in Organic Food Systems*, Roma, FAO.

ZITTEL, W., SCHINDLER, J. (2003): *Future Oil Supply* [www.ibst.de].

— (2004): *The Countdown for the Peak Production Has Begun, but what are the Views of the Most Important International Energy Agencies* [www. ibst.de].